

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Ekonomicko technologický efekt generální opravy a
modernizace těžkého obráběcího stroje

Economic and the Technological Effect of General Repairs
and Modernization of Heavy Machine Tool

Student: Bc. Filip Najman
Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimíra Schindlerová

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Filip Najman**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Specializace: 10 Technologický management

Téma: Ekonomicko technologický efekt generální opravy a modernizace
těžkého obráběcího stroje
Economic and the Technological Effect of General Repairs and
Modernization of Heavy Machine Tool

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika řešené problematiky.
2. Analýza současného stavu obráběcího stroje a příslušenství.
3. Rozbor analýzy, stanovení cílových požadavků.
4. Návrh vhodné přípravy a provedení opravy modernizační zařízení.
5. Zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 40s.

LÍBAL, V. a kol. *Organizace a řízení výroby*. Vyd. 7. Praha: SNTL, 1989. 558 s. ISBN 80-03-00050-5.

HLAVENKA, B. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty*. Vyd. 3. Brno : CERM, 2005. ISBN 80-214-2871-6.

MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.

LEDNICKÝ, V. *Strategické řízení*. Vyd. 1. Ostrava: Repronis, 2006, 153 s. ISBN 80-732-9131-2.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

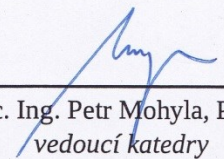
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimíra Schindlerová**


Konzultant diplomové práce: Ing. Martin Procházka

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Mistopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 5. 2015

Mojmír
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15.5.2015


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Filip Najman

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Plechy 64, Nový Malín, 78803

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

NAJMAN, F. *Ekonomicko technologický efekt generální opravy a modernizace těžkého obráběcího stroje: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 75 s. Vedoucí práce: Schindlerová, V.

Tato práce je zaměřena na problematiku generální opravy a modernizace těžkého obráběcího stroje v podniku Vítkovice Power Engineering. Stroj se bude modernizovat z důvodu jeho fyzického i morálního stáří. V úvodu je popsáno rozdělení CNC vyvrtávaček, problematika modernizace strojů a jejich údržby. Cílem samotné práce je popis možností modernizace těžkého obráběcího stroje, návrh možného provedení a definování oblastí s možnými úsporami. Modernizace stroje v podniku probíhá formou výběrového řízení, na závěr byly porovnány nabídky možné opravy stroje a pomocí metody vícekritériálního rozhodování byla vybrána nejvhodnější varianta.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

NAJMAN, F. *Economic and the Technological Effect of General Repairs and Modernization of Heavy Machine Tool: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015, 75 p. Thesis head: Schindlerová, V.

This work is focused on general repairs and modernization of heavy machine tool in the company Vitkovice Power Engineering. The machine will modernize by reason of his physical and moral age. The introduction describes the distribution of CNC boring machines, the issue of modernization of machines and their maintenance. The aim of this work is a description of options for the modernization of heavy machine tool, a proposal of a possible execution and define areas of possible savings. Modernization of machine in the company takes the form of tender, I finally compare offers of possible to repair the machine and using the method of multi-criteria decision, I chose the best option.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Úvod.....	9
1 Obecná charakteristika řešené problematiky	10
1.1 CNC vyvrtávací stroje.....	10
1.2 Údržba, opravy a retrofitting CNC obráběcích strojů	14
1.2.1 Údržba.....	14
1.2.2 Oprava.....	18
1.3 Snížení energetické náročnosti obráběcích strojů (Ekodesign)	22
2 Analýza současného stavu obráběcího stroje a příslušenství.	31
2.1 Charakteristika společnosti Vítkovice Power Engineering a.s.	31
2.2 Popis stávajícího zařízení	33
2.3 Současný stav zařízení	36
3 Rozbor analýzy, stanovení cílových požadavků.	39
4 Návrh vhodné přípravy a provedení opravy modernizací zařízení.	40
4.1 Možnosti opravy a modernizace stroje	40
4.1.1 Odměřování polohy	40
4.1.2 Vedení.....	42
4.1.3 Řídicí systém stroje.....	46
4.1.4 Automatická výměna nástrojů	47
4.1.5 Teleskopické kryty.....	49
4.1.6 Oprava úložných ploch pro valivá ložiska.....	49
4.2 Doporučený rozsah opravy stroje Škoda W 200 HC	50
4.2.1 Mechanická část:.....	50
4.2.2 Elektrická část:.....	52
4.2.3 Stavební část:	54
4.2.4 Ostatní:.....	55

4.2.5	Nástrojové hospodářství	55
4.2.6	Provedení pracoviště v souladu s BOZP.....	55
4.2.7	Údržba.....	56
4.3	Nabídky generální opravy a modernizace stroje	58
4.3.1	Vícekritériální rozhodování	59
4.3.2	Technické parametry stroje po modernizaci - Škoda Machine Tool	64
5	Závěr.....	69
6	Seznam použité a studované literatury	71
7	Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	73

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Význam
AC	Alternating current - střídavý proud
AFC	Adaptivní řízení posuvu
AVN	Automatická výměna nástrojů
BM	Break down maintenance – údržba, která reaguje na poruchy
BO	Běžná oprava
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CNC	Computer Numeric Control - počítačové číslicové řízení
CO	Celková oprava skupiny stroje
ČSN	Československá norma
DCM	Dynamic collision monitoring - dynamická kontrola kolizí
Ekodesign	Design produktů, který do vývoje produktů zahrnuje i hledisko ochrany životního prostředí
Ekoengineering	Produkty zahrnující především dodávky pro zemědělství
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis – analýza způsobů a důsledků poruch
GO	Generální oprava
GOMO	Generální oprava a modernizace
HB	Brinell hardness – označení tvrdosti podle Brinella
HIL	Hardware In the Loop – simulační systém
HRC	Označení tvrdosti podle Rockwella, indentorem je diamantový kužel
ISO	International Organization for Standardization - Mezinárodní organizace pro normalizaci
IT	Soustava stupňů přesnosti
Master-slave	Způsob pohonu osy X pomocí ozubeného hřebene a dvojice předepnutých pastorků
NC	Numerical Control – číslicové řízení
PICK-UP	Systém automatické výměny nástroje
PLC	Programmable Logic Controller - Programovatelný logický automat
PM1	Preventive Maintenance – preventivní údržba
PM2	Productive Maintenance – produktivní údržba
Power-management	Nástroje pro energetickou optimalizaci stroje
RCM	Reliability Centred Maintenance – údržba orientovaná na spolehlivost
RS	Renovace součástky
TH	Technická hodnota stroje
TIA	Totally Integrated Automation – plně integrovaná automatizace-koncepce řízení od společnosti Siemens
TPM	Total Productive Maintenance – totálně produktivní údržba
ZO	Záruční oprava

Úvod

Zpracovatelský průmysl patří mezi nejvýznamnější hospodářská odvětví. Mezi nejdůležitější patří strojírenství a především opracování kovů. Téměř všechny výrobky, které máme ve svém okolí, vznikly pomoci obrábění nebo za pomoci stroje, který byl vyroben obráběním. Obrábění kovů tak patří k významným činnostem, bez kterých by nebylo možné produkovat nové výrobky a dále rozvíjet společnost.

Obrábět lze několika způsoby. Konvenčně odebráním třísky a nekonvenčně pomocí laseru, vodního paprsku apod. Obrábění odběrem třísky tvoří většinu operací. Způsobů odběru třísky je mnoho, mezi základní patří soustružení, frézování, vyvrtávání, vrtání a další. Ke každému způsobu obrábění sloužil původně jiný stroj, ale v dnešní době moderních CNC strojů se může na jednom stroji vykonávat i více druhů operací například vyvrtávání a frézování na horizontální vyvrtávače.

Mnoho starších obráběcích strojů stále slouží v mnoha podnicích. Tyto stroje postupem času stále více zastarávají a tím je snižována jejich užitná hodnota. Podniky chtějí v dnešní době vykazovat vysokou kvalitu produktů a velké množství možností jak uspokojit potřeby zákazníka. Nemají však možnosti vzhledem k výkonnosti strojů. Mnoho firem tak nechává své stroje modernizovat, což zajistí vyšší produktivitu práce, snížení nákladů na provoz a vyšší spolehlivost zařízení.

Tato práce se bude zabývat modernizací staršího modelu těžké horizontální vyvrtávačky. V teoretické části této práce, jsem rozebral rozdělení a konstrukční části vyvrtávaček, shrnul jsem možné přístupy k údržbě a rozebral problematiku oprav a modernizace obráběcích strojů. Nakonec jsem v teoretické části nastínil možnosti úspor v oblasti energetické spotřeby stroje.

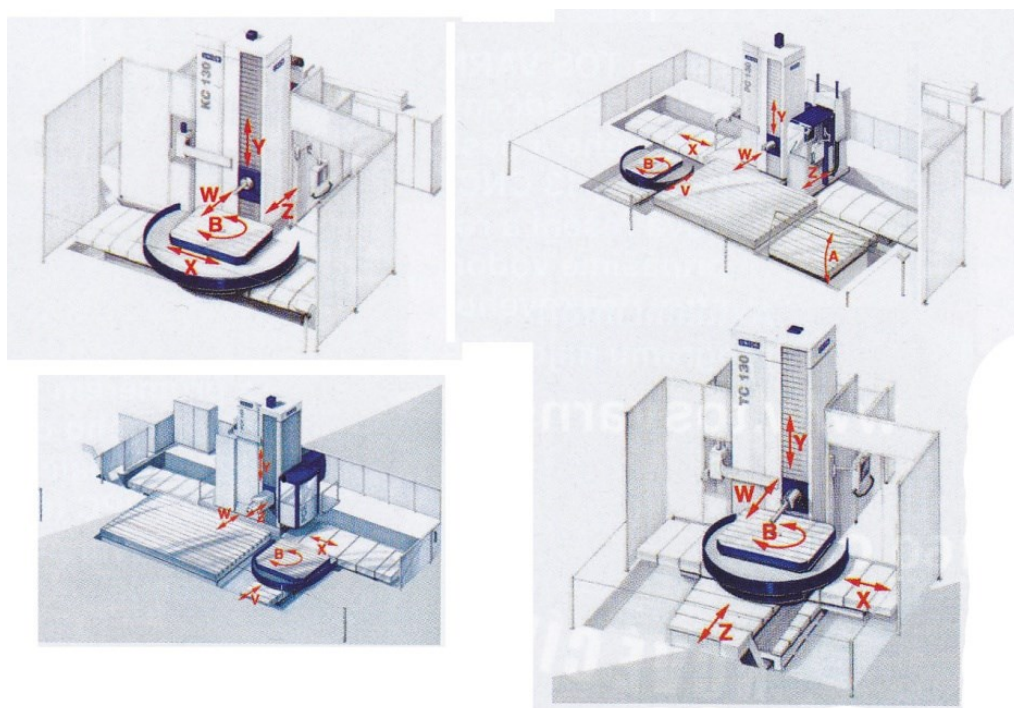
V praktické části jsem uvedl možnosti opravy a modernizace horizontální vyvrtávačky umístěné v podniku Vítkovice Power Engineering, která se věnuje obrábění těžkých dílců. Tento stroj je morálně zastaralý a neposkytuje požadované technologické vlastnosti. Z ekonomických důvodů se společnost rozhodla o obnovení stroje formou generální opravy a modernizace, která je výhodnější než pořízení nového stroje. Cílem práce tedy je popis možností co na stroji modernizovat a návrh provedení modernizace tohoto těžkého obráběcího stroje. Podnik tuto modernizace bude řešit pomocí výběrového řízení na modernizaci celého stroje, takže jsem z několika nabídek vybral pomocí vícekritériálního rozhodování nejlepší možnou variantu nabídky.

1 Obecná charakteristika řešené problematiky.

1.1 CNC vyvrtávací stroje

Vyvrtávací stroje tvoří rozsáhlou skupinu strojů určených jak na výkonné tak i přesné obrábění především otvorů, ale i čelních ploch, zejména u nerotačních částí. Hlavní řezné pohyby vykonává zpravidla nástroj upnutý ve vřetenu. Podle základní konstrukční koncepce lze vyvrtávací stroje rozdělit na typy:

- Vodorovná osa vřetena - stolové, křížové, deskové, souřadnicové.
- Svislá osa vřetena – souřadnicové.



Obr. 1 Varianty stolové, křížové a deskové vyvrtávačky [1]

Stolové vyvrtávačky – V tomto provedení se vyrábí vyvrtávačky menších velikostí, zpravidla do průměru vřetena 110 mm. Jsou vybaveny křížovým stolem, umožňujícím pohyb ve dvou na sebe kolmých směrech. Stůl bývá otočný, takže umožňuje obrábění ze všech stran na jedno upnutí. Stojan se pohybuje o vedení na loži ve směru osy vřetena a stůl na loži horizontálně ve směru kolmém na vřeteno. Lože stojanu a lože stolu mohou ale i nemusí být spojeny.

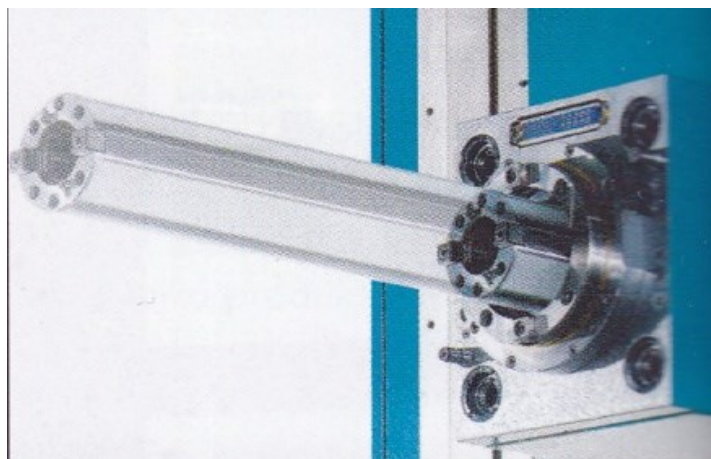
Křížové vyvrtávačky – řešeny tak, že stůl je pohyblivý pouze v příčném směru a stojan po loži v kolmém směru. Používají se k opracování dlouhých rovinných ploch. Vyvrtávačky jsou středních rozměru s průměry vřeten od 80 do 160 mm.

Deskové vyvrtávačky – stůl s obrobkem je nepohyblivý, vřeteník se posouvá ve svislém směru po vedení stojanu a stojan se posouvá kolmo na osu vřeteníku. Tyto vyvrtávačky jsou nejrozměrnější s průměry vřeten 130 – 315 mm. Často se dodává i otočný stůl, což významně rozšiřuje možnosti a zvyšuje počet řízených os.

Souřadnicové vyvrtávačky – jsou určeny k přesnému obrábění otvorů (IT6, IT5) v přesných osových vzdálenostech ($\pm 0,01$ až $\pm 0,005$ mm). Lze na nich provádět i další druhy operací, včetně jemného frézování. Někdy jsou využívány ke kontrole obrobků opracovaných na jiných strojích. Kvůli požadované přesnosti by měly být stroje umístěny v oddělené místnosti se stabilní teplotou $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, nesmí být umístěny v blízkosti strojů vyvolávajících otřesy nebo ve vyšších podlažích.

Pro vyvrtávací stroje je typické, že vřeten jsou pro vyvrtávací a zároveň i frézovací nástroje. Základní operací na vyvrtávacích strojích je především obrábění jedním břitem (vyvrtávání), která klade vysoké nároky na tuhost stroje s ohledem na změnu orientace směru působení řezných sil během hlavního rotačního pohybu.

Vodorovné vyvrtávačky jsou velmi univerzální přístroje pro kusovou a malosériovou výrobu. Umožní na jedno upnutí provést současně nebo postupně různé operace až z pěti stran obrobku. Je možné na nich vrtat, vyvrtávat, vystruhovat, zahlubovat, soustružit, frézovat a někdy i protahovat a obrážet. Typické je pro ně na míru konstruované příslušenství a přídatná zařízení. Hlavní pohyb vykonává vřeten s nástrojem. Frézovací vřeten je uloženo pevně ve vřeteníku a vyvrtávací vřeten je uloženo v přesných ložiskách a to buď v dutém frézovacím vřetenu a s ním ve vřeteníku nebo přímo ve vřeteníku. Pinola je tedy výsuvná a je v ní uloženo vyvrtávací vřeten. Pinola mu umožňuje dokonalejší podepření při výrazném vyložení (obr. 2). Pohon vřeten je většinou pomocí AC motoru přes převodovku regulující rozsah. Výsuv vřeten je realizován samostatným servomotorem a translačním mechanismem.

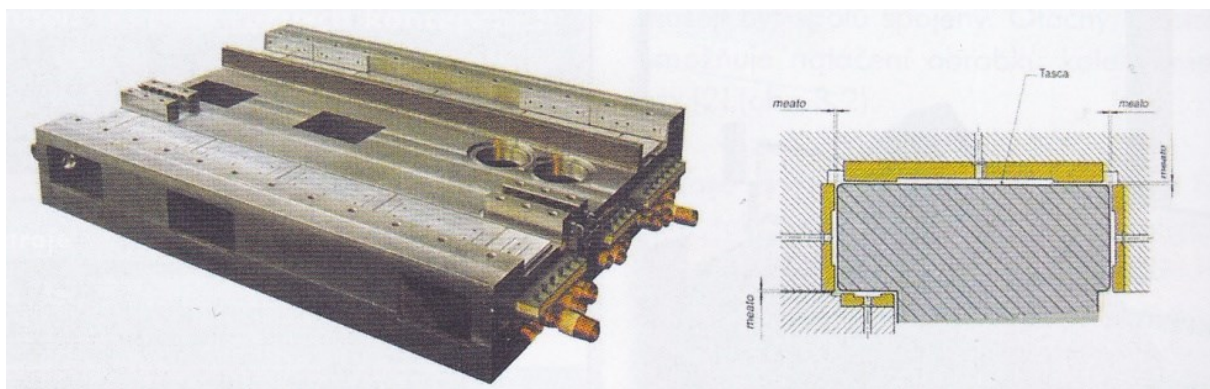


Obr. 2 Výsuvné vyvrtávací vřeteno [1]

Nástroje se upínají do kuželové dutiny vyvrtávacího vřetena. Frézovací nástroje se upínají na čelo frézovacího vřetena. Upínání může být mechanické nebo automatické. Na čelo frézovacího vřetena je možné upnout i lícni desku. Ta umožňuje pohyb její střední části pro tzv. čelní soustružení. Vřeteno bývá teplotně stabilizováno chlazením a může mít kompenzaci úchylky průhybu způsobené jeho vlastní hmotností. Výsuv vřetena je prováděn pomocí kuličkového šroubu.

Stůl pro upnutí obrobku může být řešen jako otočný s plynulým otáčením, což je pak obdoba soustružnického stolu, nebo může být jen pro ruční polohování. Může mít hydrostatické nebo hydrodynamické vedení a dvou pastorkový náhon z důvodu vymezení vůle v ozubení. U menších stolů je pak možnost použití uložení pomocí valivých ložisek (víceřadá kuličková, radiálně – axiální, válečková, křížová,...).

Vodící plochy mohou být tvořeny klasickou dvojicí kalená ocel a plastové obložení, dále pak hydrostaticky, nebo profilovým valivým vedením. Řez hydrostatickým vedením názorně ukazujícím hydrostatické kapsy je na obr. 3.



Obr. 3 Hydrostatické vedení stolu [1]

Na strojích mohou být další moderní prvky konstrukce jako torzní motory, stojící šroub a rotující matice nebo mechanická či elektromechanická kompenzace přesnosti.

Zvýšením produktivity nejčastěji dosahujeme obráběním více nástroji najednou. Horizontky ale nebývají více vřetenové a proto se pracoviště řeší pomocí dvou strojů orientovaných proti sobě (obr. 4). Mezi nimi je pak umístěn stůl s obrobkem. Pořizovací náklady takového řešení jsou však vysoké.



Obr. 4 Dvojice vřeten orientovaných proti sobě [1]

Na čelo vřeteníku můžeme upnout řadu příslušenství, např. pro výrobu hlubokých otvorů (obr. 5), nebo různé typy frézovacích hlav (obr. 6).

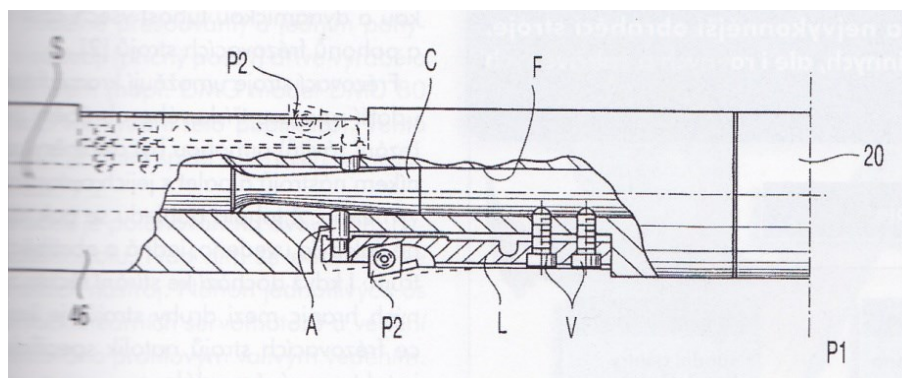


Obr. 5 Speciální příslušenství pro výrobu hlubokých otvorů [1]



Obr. 6 Frézovací hlava [1]

Důležité je také kompenzovat otupení nástroje při vrtání dlouhých otvorů. Příklad takové řešení servomechanické kompenzace (US patent 7195430) je na obr. 7. Úhel stoupání tyče C určuje velikost vysunutí břitové destičky do řezu. Destička je umístěna v držáku, který jde pružně deformovat za účelem posuvu bříty. [1]



Obr. 7 Kompenzace opotřebení nástroje - US patent 7195430 [1]

1.2 Údržba, opravy a retrofitting CNC obráběcích strojů

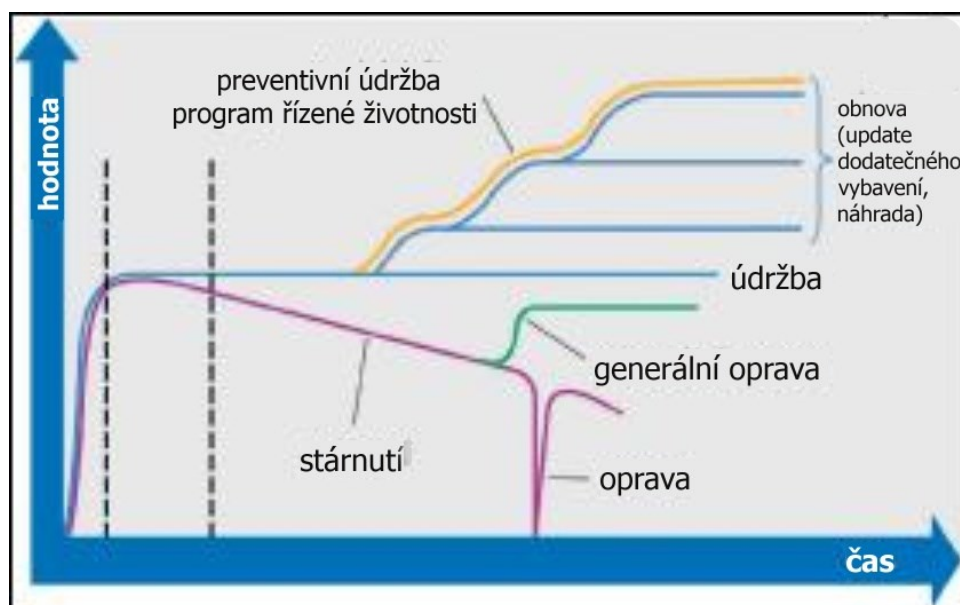
Dobrý systém údržby dokáže zabránit častým odstávkám stroje. Neodkází však zabránit postupnému celkovému stárnutí strojů. Po určité době provozu CNC obráběcích strojů je lze ale opravit tak, že se jejich vlastnosti budou blížit továrním výrobkům nebo je budou převyšovat. Základní terminologie je uvedena níže.

1.2.1 Údržba

Je to souhrn činností, které zabezpečují technickou způsobilost a hospodárnost provozu stroje. Patří sem zejména pravidelné technické prohlídky, ošetření, doplnění nebo výměna maziva a oleje a jiných náplní, apod. Nejčastěji se vykonává bez demontáže a

výměny součástí. Údržbou se předchází poruchám, zpomaluje se opotřebení a odstraňují se drobné závady.

Společnosti investující do nového vybavení požadují, aby bylo jejich nové zařízení produktivní po mnoho let. Pravděpodobnost výskytu poruchy stroje se však už po pár letech značně zvyšuje. Záleží na přístupu k údržbě, zda se bude poruchám a odstávkám stroje do budoucna předcházet (obr. 8).



Obr. 8 Závislost užité hodnoty zařízení na čase při různých přístupech k údržbě [8]

Obzvláště u točivých strojů je po určité době provozu bez pravidelného servisu vysoká pravděpodobnost selhání mechanické části. Preventivní údržba toto riziko značně snižuje. V dnešní době převažuje názor, že moderní stroje vybavené elektronickými součástkami nevyžadují žádnou zvláštní údržbu. Tento názor ale není správný. Riziko se také zvyšuje, jelikož součástka po pár letech provozu stárne. Porucha těchto dílů může následně způsobit i poškození jiných částí. Prevencí lze tak četnosti i rozsah snížit.

Systémy údržby

Můžeme tak nazvat soubor organizačních, finančních hmotných a jiných prvků pro zabezpečení údržby.

Úlohy:

- určit hlavní druhy opravárenských prací podle charakteru stroje,
- určit potřebnou periodu prací,
- stanovit objem prací na základě norem pracnosti, objemů materiálových nákladů, minimalizace prostojů,
- používat moderní metody organizace oprav a materiálového zabezpečení,
- zabezpečit kvalitu údržbových prací,
- vytvořit systém plánování údržbových prací.

Vývojové stupně údržby

1. stupeň - BM (Break - down Maintenance) – Odstraňování poruch

Stroje pracují a když nastane porucha, zasahuje oddělení údržby a odstraňuje ji.

2. stupeň - PM1 (Preventive Maintenance) – Preventivní údržba

Existují dva základní typy preventivní údržby. Údržba v periodických cyklech a údržba na základě stavu zařízení, kde se vyhodnocují abnormality v činnosti zařízení a sleduje se střední doba cyklů mezi poruchami. Periodická údržba se asi v 92% případů u komponentů jeví jako příliš nákladná. Namísto toho údržba na základě stavu, vyměňuje komponenty až v tom případě, kdy se začnou objevovat abnormality v chodu stroje, čímž je méně nákladná.

3. stupeň - PM2 (Productive Maintenance) – Produktivní údržba

Zaměřuje se nejen na samotný provoz stroje ale i na tři základní parametry ve výrobě: požadovanou kvalitu, požadované termíny a plánované náklady (tzv. QDC výrobní funkce - Quality, Delivery, Cost). Údržba se také zabývá obnovou a modernizací zařízení, problémy při přetypování strojů, zkracováním neproduktivních časů, životností nástrojů a celkově zvyšováním produktivity obrábění.

4. stupeň - TPM (Total Productive Maintenance) – Totálně produktivní údržba

Orientuje se na zapojení všech pracovníků v dílně do aktivit, které směřují k minimalizaci poruch, prostojů a výroby zmetků. TPM překonává tradiční dělení na pracovníky a údržbáře. Vychází se z toho, že právě pracovník obsluhující stroj, může včas zachytit abnormality chodu stroje a případné budoucí zdroje poruch. Maximum údržbářských a diagnostických činností se tak přenáší na výrobního pracovníka. Většinou

se začíná s čištěním pracoviště, stroje a kontrolou jejich stavu. Obsluha se tak učí „porozumět svému stroji“, stanovit správnou diagnózu a případně opravit. Právě operátoři jsou v každodenním kontaktu se strojem a mohou tak poznat různé abnormality a včas tak zabránit případné poruše či havárii. Implementace této metody je však založena na změně myšlení obsluhujícího personálu. Operátor by měl nejen vystupovat jako obsluha stroje ale i jako aktivní spolupracovník údržby. Tento systém musí být zastřešený aktivní podporou ze strany managementu a technických pracovníků. Zavádění TPM musí proto probíhat tréninkem pracovníků, zdokonalování jejich práce, znalostí stroje a organizací a údržbě pracoviště. Postupně se operátor učí metody, při kterých přebírá méně složité a časově nenáročné prvky údržby stroje.

5. stupeň - RCM (Reliability Centred Maintenance) – Údržba orientovaná na spolehlivost

Tato metoda byla vyvinuta v 30. letech v civilním letectvu v USA americkou společností FFA a Boeing. Odtud pramení snaha o zvyšování bezpečnosti při ekonomicky efektivnějších činnostech údržby.

RCM odpovídá na otázky typu:

- jaké jsou funkce daného zařízení,
- co způsobuje poruchy,
- co se děje když se vyskytne porucha,
- jakým způsobem se každá porucha projevuje,
- jak se dá předcházet vzniku poruchy,
- je nějaké řešení pokud se poruše nedá zabránit?

Strategie sleduje provoz stroje a definuje důsledky jeho poruch. Tyto důsledky jsou klasifikovány do čtyř oblastí:

- důsledky zapříčiněné skrytými poruchami,
- důsledky ovlivňující bezpečnost a prostředí,
- důsledky provozní, které ovlivňují přímé náklady zapříčiněné opravou zařízení. Postihují výrobu a tak představují ztráty nepřímé, které se podílejí na výšce celkových nákladů.

RCM vytváří strukturu důsledků seřazených podle závažnosti jednotlivých poruch. Při stanovování musí být specifikovány všechny činnosti prvků zařízení. Pokud není možné

úroveň rizika poruchy jednotlivého prvku snížit, potom je nutné prvek modernizovat. Metoda se tak zabývá i hodnocení vzniků možných příčin poruch.

Mezi základní nástroje při hodnocení rizik poruchy patří metody:

- analýza příčin a následků,
- analýza rizik,
- FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) – analýza způsobů a důsledků poruch [2, 8].

1.2.2 Oprava

Je to souhrn činností, kterými se odstraňují obvykle vady stroje, následky mechanického poškození nebo účinky jeho opotřebení ať už celků, skupiny nebo částí strojů. Opravou se obnovuje správná funkce a provozuschopnost, ale nemusí být zachovány jmenovité rozměry částí, jaké jsou u nově vyrobeného stroje. Opravy lze rozdělit na běžné, celkové opravy skupin, generální a záruční.

Běžná oprava (BO)

Oprava, při níž se odstraňují vady některých částí stroje. Většinou se uskutečňuje výměnou opotřebovaných nebo vadných součástek za nové, opravené nebo renovované. Patří sem i opravy, při níž se vymění nebo opraví některá z hlavních skupin.

Celková oprava skupiny stroje (CO)

Oprava, při níž se v rozsahu mezních odchylek obnovují původní technické vlastnosti skupiny nebo uzlů. Spočívá ve výměně všech vadných, poškozených nebo opotřebovaných součástek za nové renovované nebo opravené. Poškozené skupiny se obvykle ze stroje demontují, ostatní součástky a uzly pak zůstávají ve stroji. V praxi se pak běžně používá i slangový výraz repase, který můžeme zařadit jako podmnožinu celkové opravy.

Generální oprava (GO)

Generální oprava, umožňuje v dovořených tolerancích obnovit technické parametry a technologické vlastnosti stroje. Jedná se o komplexnější opravu, která spočívá v celkové demontáži všech částí, skupin a uzlů stroje na dílce a součástky. Následně dochází k opravě jednotlivých částí a výměně vadných dílců za náhradní, tedy celková demontáž a opětovná montáž. Nakonec přichází zprovoznění a oživení všech jeho funkcí (mechanických i řídicích) a obnovení povrchu stroje nátěrem, barevným značením a

nápisy. Často se během generální opravy provádí i modernizace vybraných konstrukčních podskupin nebo uzlů za účelem zvýšení jeho užitné hodnoty jako celku. Jestliže se jedna z hlavních skupin neopravuje, pak se nejedná o generální opravu, ale o celkovou opravu, případně běžnou. V rámci generální opravy se některá z hlavních skupin nemusí celkově opravovat, ale místo ní se může dodat nová hlavní skupina.

Záruční oprava (ZO)

Oprava provedená v záruční době.

Renovace součástky (RS)

Je to oprava, při níž se součástce vrátí její původní rozměr s předepsanými tolerancemi, s původními vlastnostmi, přičemž se obvykle zachovává její původní životnost součástky. Renovaci je možné provést nanesením nové vrstvy materiálu různými metodami, povrch dokončit např. obráběním nebo tvářením a následně provést tepelné zpracování.

Modernizace

Stroje a zařízení se mohou modernizovat tak, že se některé části nahradí novými technicky pokrokovějšími a moderními prvky pro realizaci funkcí, čímž se rozšíří jejich vybavenost nebo technologická použitelnost. Tyto změny obvykle mění i technickou hodnotu stroje (TH), kterou je potřeba zohlednit v tzv. technickém zhodnocení.

Retrofitting

Retrofitting znamená spojení generální opravy s modernizací, inovací, doplňkovou mechanizací a automatizací. V současné době je v podnicích velké množství strojů, u kterých by bylo možné zvýšit užitnou hodnotu pomocí vhodného stupně retrofittingu. Cenové relace budou i dále pro začínající podnikatele příliš vysoké takže bude potřeba obnovovat strojní park cestou modernizace pomocí této metody.

Stručný výčet stupňů retrofittingu:

Stupeň 1 – stroj je doplněn odměřováním pro dvě CNC osy

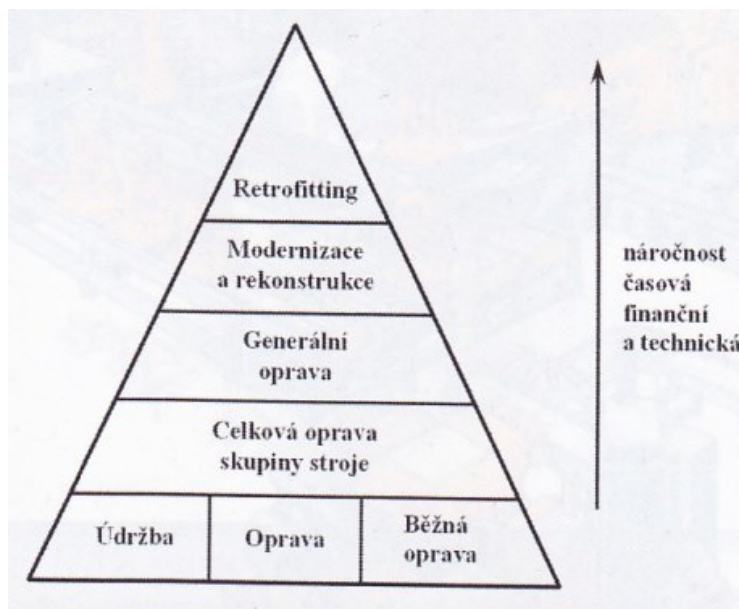
Stupeň 2 – stroj je doplněn odměřováním pro tři CNC osy s předvolbou souřadnice

Stupeň 3 – stroj je doplněn odměřováním pro tři CNC osy s předvolbou souřadnice a rekonstrukcí pohybového šroubu a úpravou kinematického řetězce doplnění motoru pro každou osu, doplněním elektromagnetických brzd apod. Pohybový šroub s trapézovým závitem vyměnit za kuličkový šroub, zvýšit výkon hlavního motoru. Zvýšit výstupní otáčky vřetena, avšak v některých případech postačí pro zvýšení otáček změnit řemenice motor-převodovka. Vřeteník by měl být doplněn automatickým upínáním nástroje nebo použít předseřizené nástroje v držácích. Ovládání stroje vybavit jednoduchým řídicím systémem, který by bylo možné v pozdější době doplnit o další funkce, tak jak zákazník bude požadovat.

Stupeň 4 – totéž jako stupeň 4 jen s doplněním modernizace hlavního a vedlejšího pohonu motorem s plynulou regulací otáček a modernějším řídicím systémem.

Stupeň 5 – totéž jako stupeň 4 jen s doplněním automatické výměny nástrojů a obrobků, kontrolou rozměrů vyráběných součástí, případně doplnění zásobníkem obrobků a mezistrojovou dopravou.

Stupeň 6 – totéž jako stupeň 5, s doplněním o prvky pro řízení chodu stroje, jako např. měření přenášeného momentu, chvění, teploty ložisek. Z důvodu předcházení poruchám stroje nebo pro případnou diagnostiku poruchy.



Obr. 9 Hierarchie oprav [1]

Generální opravy se většinou provádí na zakázku a podle představ a požadavků uživatelů. Při generální opravě nedochází jen k prosté výměně opotřebovaných a vadných dílů ale většinou se spojuje s modernizací. Tím se dosahuje zvýšení přesnosti výroby, vyšší produktivity, zvýšení komfortu obsluhy stroje a v neposlední řadě dochází i k úpravám splňující současné ekologické a bezpečnostní normy.

Jestliže je poškozená součást schopna opravy, opraví se renovací. Jestliže však není schopna opravy, tak se vymění za novou. Pokud nejsou k poškozené součásti k dispozici výrobní výkresy, tak se součást změří a podle protikusu se zvolí nové lícování. Toto je podstatou generálních oprav a vyžaduje poměrně velkou zkušenost.

U generálních oprav se většinou provádí:

- Oprava vodících ploch.
- Výměna všech ložisek.
- Výměna pohybových šroubů.
- Výměna ozubených kol, řemenů, případně celých převodovek.
- Výměna mazacích obvodů.
- Výměna elektrické instalace.
- Nová povrchová úprava stroje.

Po provedení generální opravy může podle požadavků následovat modernizace. Kritéria potřeby modernizace jsou:

- Klesající produktivita zařízení v důsledku malého výkonu pohonů a tím nemožnost zvýšit výkon obrábění.
- Klesající přesnost výrobků v důsledku opotřebení komponent.
- Problémy s rostoucím sortimentem výrobků a jejich složitostí.
- Rostoucí časy v přípravě výroby.

Modernizací je tak možné dosáhnout:

- Větší konkurenceschopnost - snadnější přizpůsobení se přáním zákazníka, nižší časy při zpracování objednávek, možnost vyrábět složitější díly, vyšší přesnost a kvalita výroby, nižší výrobní náklady, možnost použití novějších materiálů.
- Zvýhodnění zaměstnanců, zkvalitnění pracovního místa, ulehčení od těžké práce, nižší ekologická zátěž.

U modernizace se většinou provádí:

- Výměna hlavních a posuvových motorů.
- Instalace nových ochranných krytů.
- Instalace nového druhu výměny nástrojů.
- Doplnění o zařízení pro manipulaci s obrobky.
- Záměna mechanických převodovek za regulační pohony.
- Doplnění o systém měření nástroje či obrobku.
- Rozšíření a modernizace zásobníků nástrojů [1].

Nástin způsobu řešení modernizace může být například takový:

Tab. 1 Způsoby řešení modernizace [1]

Cíl modernizace	Možný způsob provedení
Zvýšení výkonu stroje	Zvýšení výkonů hnacích motorů, tj. zvýšení rychlosti obrobku, zvýšení rychlosti posuvů nebo zvýšení rychlosti nástroje
Zvýšení rozsahu posuvů	Úpravy vodících ploch, použití kuličkových šroubů, použití stejnosměrných regulačních motorů
Zvýšení tuhosti stroje	Použití nových lepších ložisek, použití výztuh a podpěr nebo zesílení částí skříně, úpravy proti chvění a rázům
Zvýšení přesnosti stroje	Úpravy pro zvýšení tuhosti, zlepšení jakosti povrchu, omezení tepelných deformací, použití kuličkových šroubů pro posuvy
Zlepšení měření najetí na míry	Lepší odměřování a indikace polohy, automatická nebo poloautomatická měřidla, sledovací měřidla
Použití více nástrojů	Konstrukční úpravy upínání nástrojů
Zvýšení počtu pracovních vřeten	Změna koncepce stroje
Zlepšení upínání nástrojů	Použití rychloupínačů, zásobník nástrojů s automatickou výměnou nástrojů
Rozšíření použitelnosti stroje	Zvětšení pracovních délek posuvů, zvětšení upínací plochy, vybavení novými nástroji

1.3 Snížování energetické náročnosti obráběcích strojů (Ekodesign)

Obecně můžeme ekodesign definovat jako systematický návrh výrobků, kde vedle klasických vlastností jako je funkčnost, ekonomičnost a bezpečnost klade důraz na dosažení minimálního negativního dopadu na životní prostředí. A to v průběhu celého životního cyklu výrobku.

Obecně jsou hlavními zásadami ekodesignu:

- Prosazování bezpečných produktů a služeb.
- Ochrana biosféry - minimalizovat únik látek, které by mohli poškodit životní prostředí.
- Zvyšování recyklace a snižování produkce odpadů.
- Užívání obnovitelných zdrojů.
- Minimalizování rizika negativních dopadů na životní prostředí i zaměstnance.
- Úspora energií.
- Předávání informací vedoucí k efektivnímu využití procesů a materiálů.

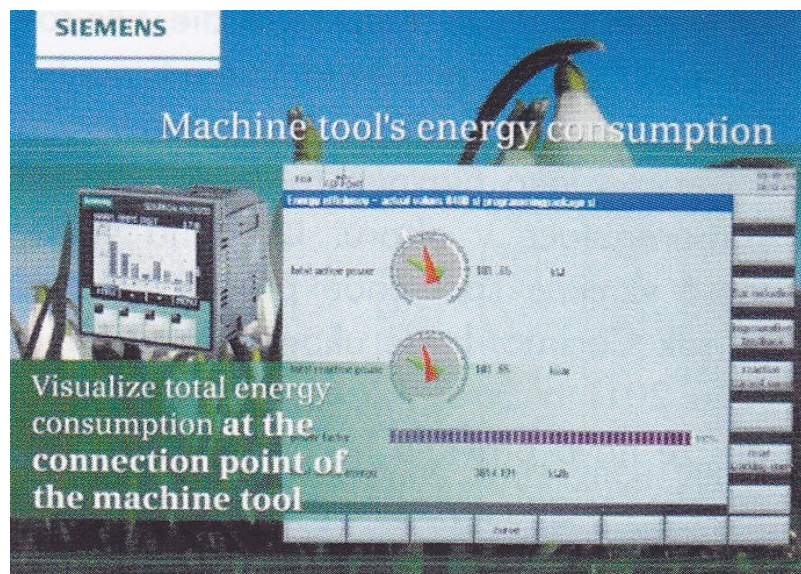
Pokud začneme přemýšlet nad ekodesignem a energetickou spotřebou strojů z technického a odborného hlediska, napadne nás mnoho otázek a neznámých, které by bylo potřeba zodpovědět a řešit. Na základě diskusí byly formulovány tyto hlavní odborné otázky pro řešení:

- 1) Jak je možné správně měřit energetické chování stroje a jeho účinnost na proces?
- 2) Jak je možné energetické chování stroje simulovat? Je možné energetické chování předvídat?
- 3) Jaké lze navrhnout fluidní systémy obráběcího stroje tak, aby pracovaly optimálně a připravovaly jen tolik tlaku a průtoku, kolik je nezbytné?
- 4) Jak významný může být pokročilý power-management, který by spouštěl a vypínal potřebné spotřebiče energie na stroji dle aktuální potřeby? Lze je technologicky realizovat na dnešním moderním stroji?
- 5) Jak provést přestavbu dříve navržených obráběcích strojů dle principů ekodesignu? Jak ověříme přínos změn?

Na základě těchto otázek můžeme formulovat hlavní fáze výzkumu v oblasti ekodesignu na obráběcích strojích.

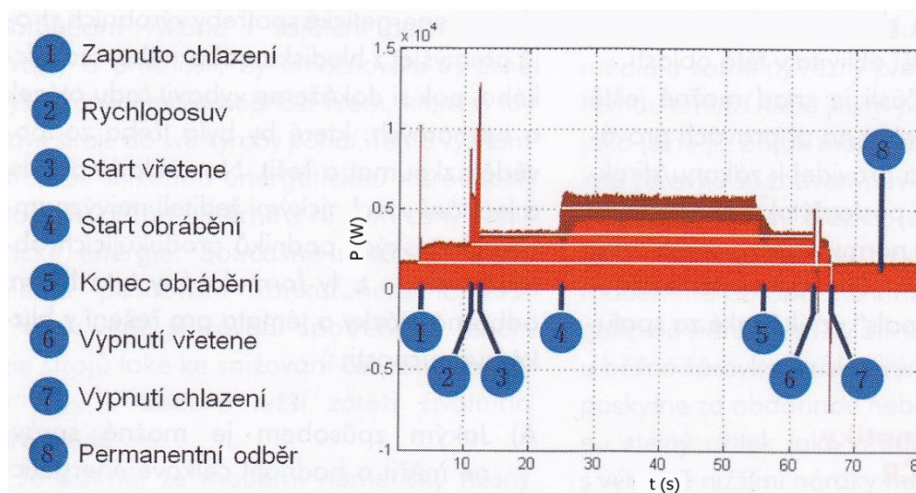
1. fáze – Získat údaje o energetické spotřebě strojů za provozu, podíl jednotlivých částí stroje na spotřebě energie a určení klíčových procesů, u nichž lze spotřebu snížit.

Jedním z prostředků mohou být např. měřicí jednotka Siemens Sentron, která má možnost záznamu a vizualizace měřených dat ve vazbě na CNC řídicí systém Sinumerik (obr. 10).



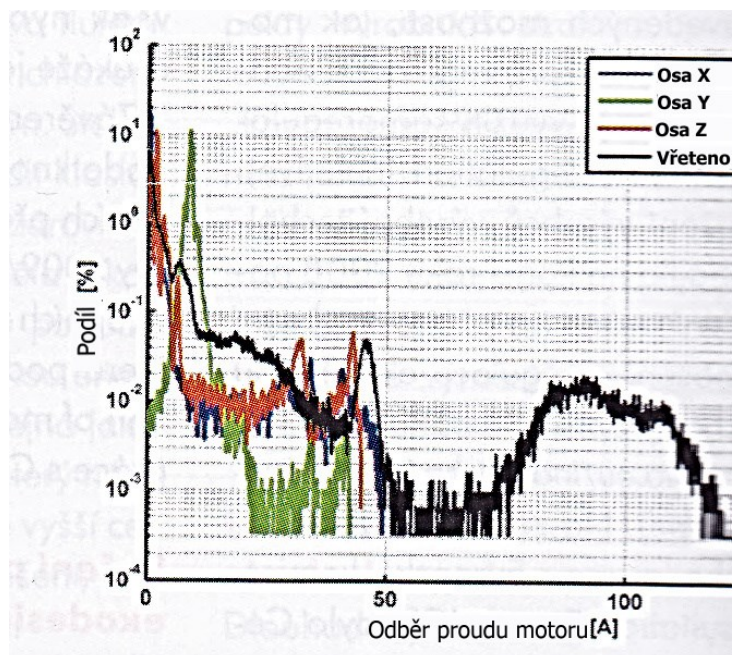
Obr. 10 Příklad měření spotřeby el. energie pomocí měřící jednotky Sentron [1]

Pomocí časového záznamu můžeme mapovat spouštění a vypínání jednotlivých spotřebičů a získat tak záznamy mapující průběh spotřeby elektrické energie. Na obr. 11 je zachycen záznam spotřeby elektrické energie na stroji během jednoduché operace zapnutí stroje, přejezd, obrábění a vypnutí stroje.



Obr. 11 Časový záznam spotřeby elektrické energie v jednoduché operaci – příkon stroje v závislosti na čase [1]

Dalším významným zdrojem informací je spotřeba el. proudu jednotlivých pohonů (obr. 12).

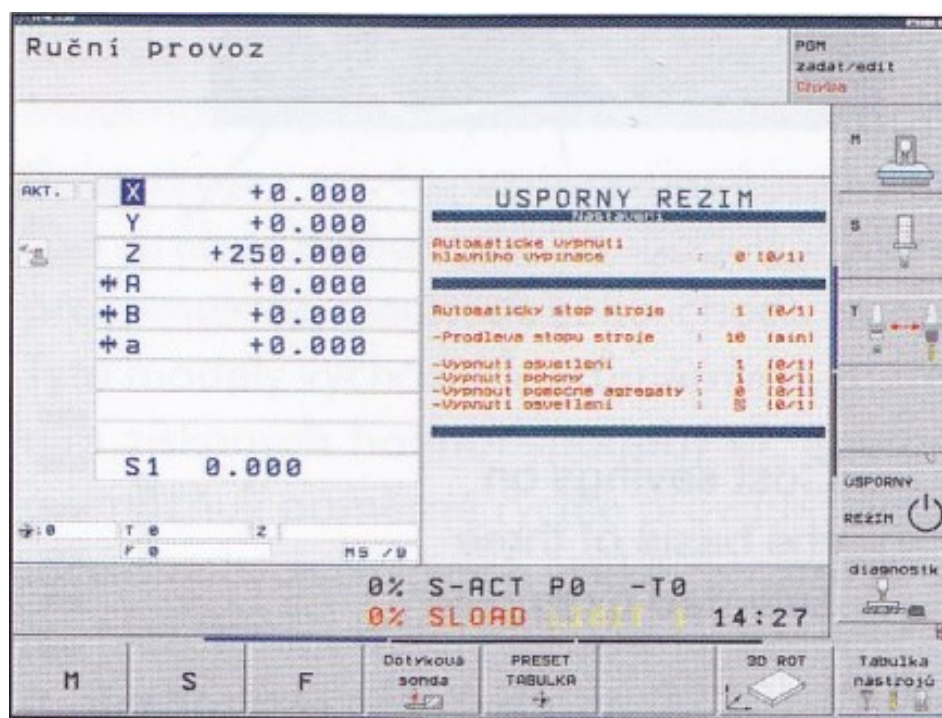


Obr. 12 Graf četnosti využití proudu u jednotlivých pohonů [1]

2. fáze – Navrhnout a realizovat nová řešení k úspoře energetické spotřeby strojů.

Na základě získaných výsledků z analýz a měření je možné určit nejvýznamnější a nejproblematictější spotřebiče. Následně je možné zahájit proces hledání nejschůdnějšího řešení snížení spotřeby elektrické energie. Jako nejefektivnější se jeví možnost zavádění pokročilého power-managementu. Můžeme tak ovlivňovat desítky parametrů ovlivňujících řízení stroje. Nejdále jsou ve využití technických možností power-managementu japonští výrobci, např. Mazak, Okuma, Mori-Seiki, atd. z českých firem je to pak Tajmac ZPS. Tato společnost implementovala do svých strojů čtyři opatření. Prvním je vypnutí všech spotřebičů, které nejsou nutné v režimu nouzového zastavení stroje, zejména jde o různé ventilátory a chladič agregáty. Kromě snížení energie se dosáhne i snížením hluchnosti. Druhým opatřením je funkce automatického vypnutí hlavního vypínače po dokončení obráběcí dílce. Třetí funkce spočívá v zavedení automatické funkce stop stroje, známé spíše u činnosti osobních počítačů. Tato funkce je aktivována, pokud je stroj po určité dobu v klidu. Stroj po určité době nastavené v parametrech řídicího systému automaticky odpojí nepotřebné spotřebiče elektrické energie. Obsluha se pro tuto funkci rozhodne s ohledem na charakter práce a může si ji navolit pomocí uživatelské obrazovky (obr. 13). Čtvrté opatření se zaměřilo na úsporu tlakového vzduchu, kdy se na centrální přívod vzduchu do stroje umístí ventil, který po vypnutí hlavního vypínače automaticky po určité

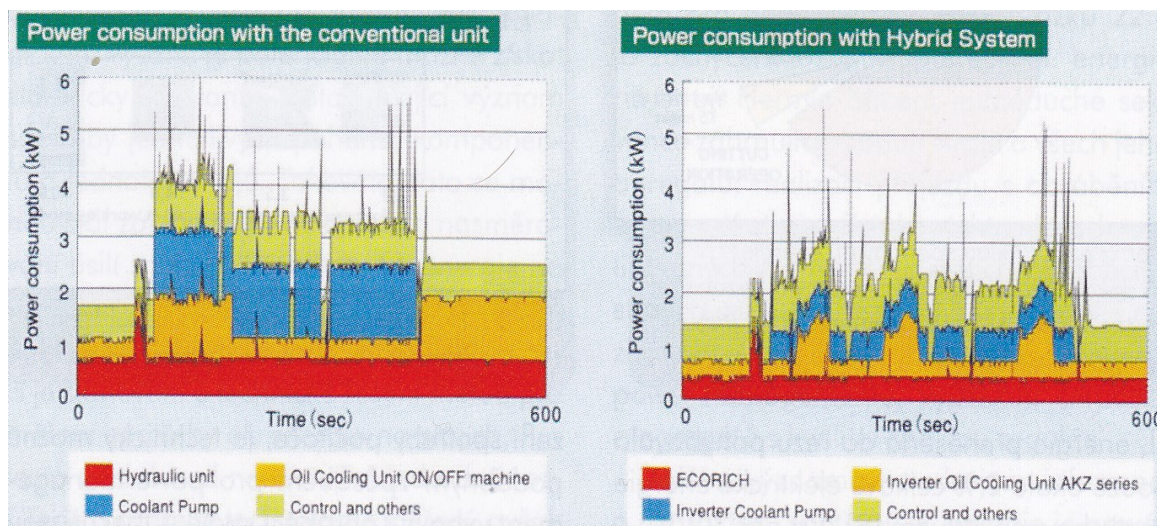
době, tak aby nedošlo k poškození stroje, uzavře. Tyto opatření ušetří energii, ale neomezí produktivitu strojů.



Obr. 13 Příklad obrazovky řídicího panelu s aktivovaným úsporným režimem [1]

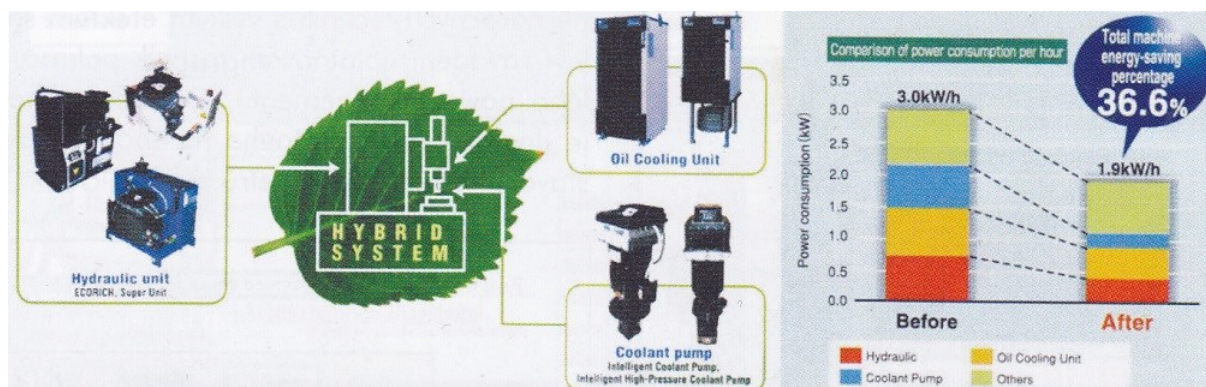
3. fáze - Navrhnout nejlepší možná řešení periferních spotřebičů energie na stroji, které tvoří velkou část spotřeby elektrické energie. Navrhnout taková řešení, která nijak neohrozí zajištění funkcí stroje, ale zamezí zbytečnému plýtvání.

Obráběcí stroje se neobejdou bez základních agregátů, které zajišťují přísun nezbytně nutných kapalných médií. Jedná se především o rezné emulze, které zajišťují chlazení nástroje, oplach a splavování třísek. Dále o vysokotlaký hydraulický olej pro systém upínání, brzd, zpevňování a nakonec vnitřní uzavřené okruhy pro chlazení motorů, vřeten, převodových skříní a dalších částí stroje. U strojů s hydrostatickým vedením jsou to ještě agregáty vysokotlakého systému hydrostatiky. U většiny strojů najdeme také agregáty pro tlakový vzduch pro funkce čištění a těsnění. Ve všech případech jde o nezbytný průtok nebo dostatečný tlak pro zajištění funkcí stroje. V současnosti většina strojů využívá systémy pro přípravu médií bez regulace průtoku a tlaku. Srovnání standartních a hybridních systémů můžeme vidět na obr. 14.

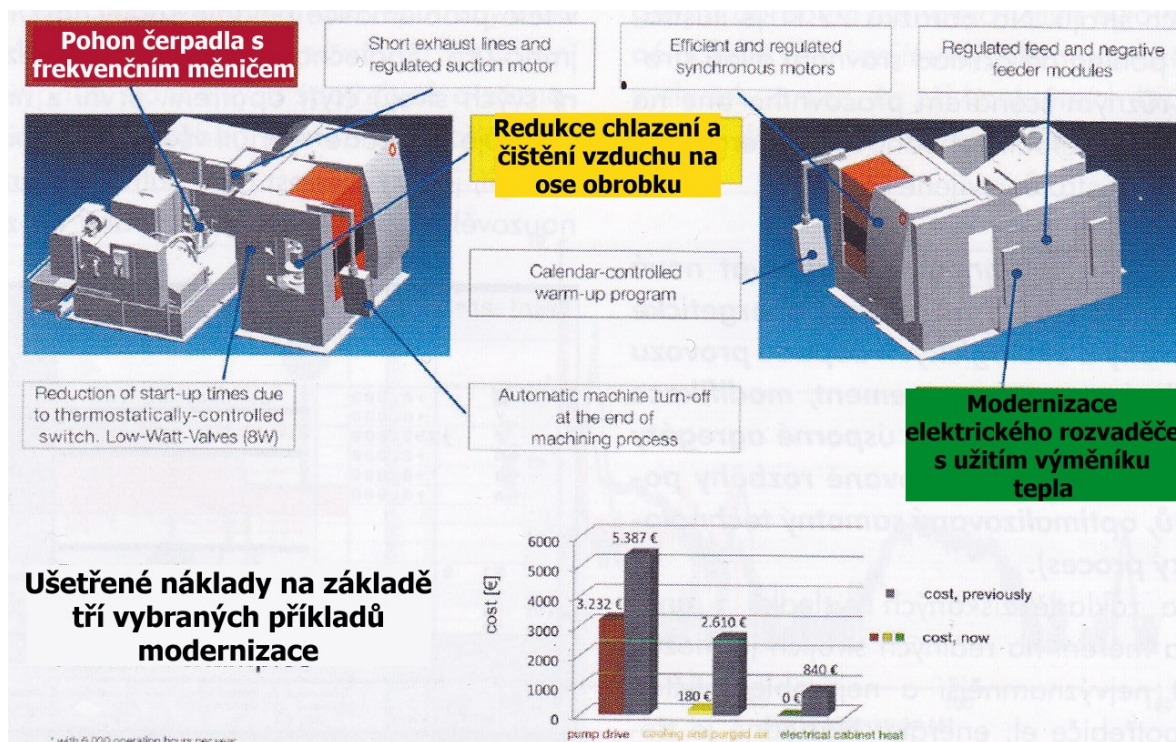


Obr. 14 Srovnání spotřeby energie (kW) v čase u provozu standartních (vlevo) a hybridních agregátů (vpravo) [1]

Zde tedy existuje velmi významný potenciál pro přípravu těchto energií, a to tak, že si můžeme připravovat tolik média a o takové tlaku kolik právě potřebujeme. Lze si tak představit i dopředné sledování NC kódu. Agregát pak s dostatečným předstihem a s pozvolným náběhem zajistí požadovaný tlak a průtok média. Např. japonská firma Daikin a německá Kapp and Niles má na svém portfoliu spojitě řízené agregáty pro aplikace na obráběcích strojích (obr. 15, 16).



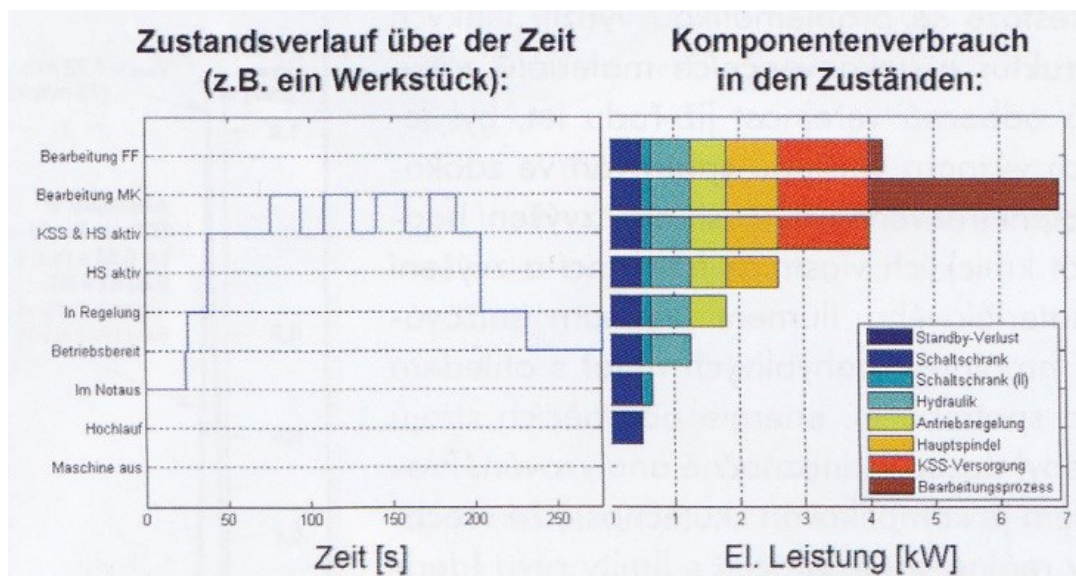
Obr. 15 Příklad hybridních agregátů a čerpadel firmy Daikin a porovnání spotřeby energie u standartních a hybridních agregátů, ukazující úsporu energie až 36,6 %. [1]



Obr. 16 Příklad technologií pro snížení spotřeby energie u obráběcího stroje a velikost úspory od firmy Kapp and Niles [1]

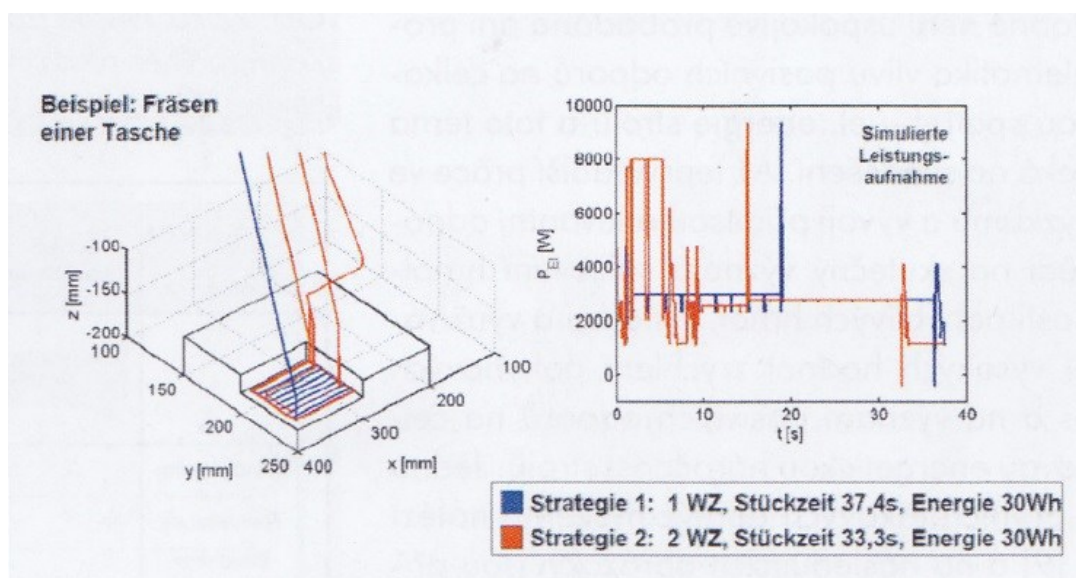
4. fáze - Provést výzkum nástrojů pro analýzu a optimalizaci strojů, především návrh metodiky v oblasti energetického auditu, návrhy modelů pro predikci energetické spotřeby stroje atd.

Účinnou energetickou optimalizací stroje je možné založit především na relevantních matematických modelech. V současné době se vyvíjejí matematické modely pro modelování spotřeby stroje dvojího druhu. Jsou to modely vhodné pro simulace dlouhodobého chodu, založené na měření průměrných hodnot spotřeby elektrické energie a umožňují rychle provádět simulace dlouhých časových úseků provozu stroje. Nezahrnují však detailněji žádné dynamické a přechodové děje (obr. 17).



Obr. 17 Spotřeba elektrické energie - levá část grafu zobrazuje průběh obráběcího cyklu v čase, vpravo jsou prvky na stroji a jejich průměrný podíl spotřeba elektrické energie v různých stavech obráběcího cyklu. [1]

Druhou kategorií modelů jsou matematické modely pro predikci spotřeba elektrické energie navazující na složité dynamické virtuální modely obráběcích strojů a metody spojení těchto strojů s reálnými řídicími systémy (obr. 18), kde se porovnávají dvě strategie obrábění, které spotřebují stejnou energii, ale liší se časem obrábění. Do budoucna lze předpokládat spojení těchto modelů do podoby velmi přesných nástrojů, ale s velmi velkými nároky na složitost.

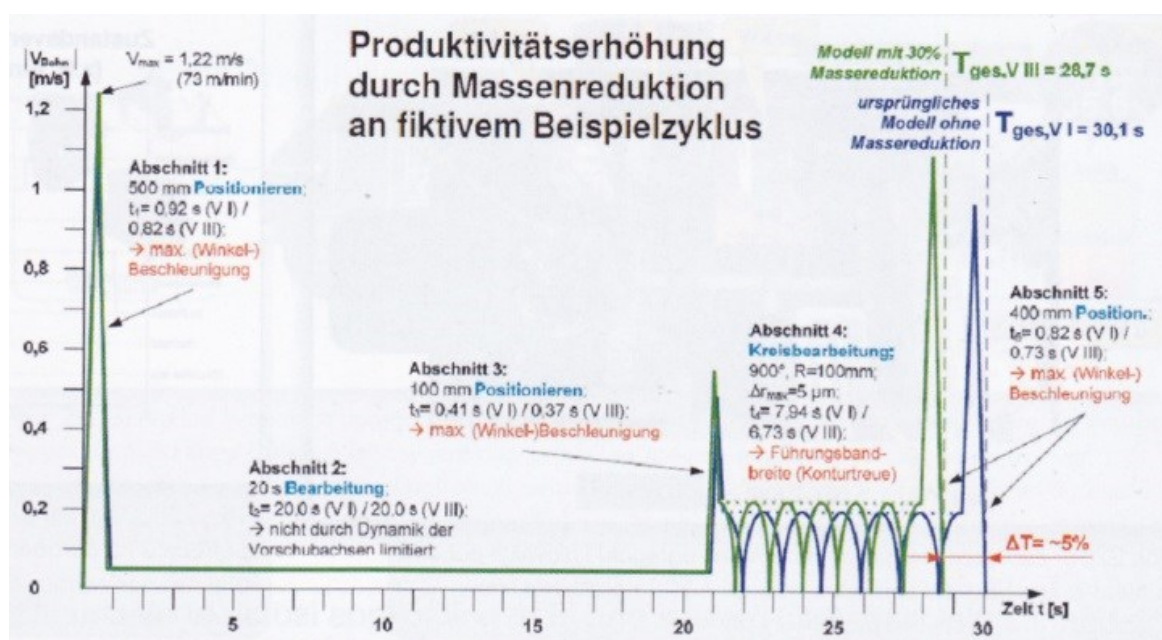


Obr. 18 Příklad modelu pro simulaci spotřeba elektrické energie, kde porovnáváme dvě strategie obrábění se stejnou spotřebou energie, které se ale liší výsledným časem obrábění.

[1]

5. fáze - Provést analýzu struktur strojů s nižší hmotností, analyzovat potenciální využití odlehčených pohybových struktur.

Problematikou využití lehkých struktur se veřejnost zabývá již řadu let. Většinou však ve zdokonalení frekvenčních vlastností a zvýšení materiálového tlumení. Výzkum snižování hmotnosti s ohledem na snížení spotřeby elektrické energie však nebyl dosud realizován. Problém je, že všechny reálné stroje pracují se složitými ději a provádění simulací takovýchto dějů se složitými trajektoriemi umožňují až dnešní moderní simulační techniky HIL (Hardware In the Loop). Na obr. 19 můžeme vidět srovnání trajektorie pohybových os při dvou různých hmotnostech.



Obr. 19 Příklad srovnání trajektorií při dvou různých hmotnostech na fiktivním příkladu obráběcího cyklu. Modrá trajektorie je bez redukce hmotnosti, zelená trajektorie je s 30 % redukcí hmotnosti pohybové struktury. Výsledná úspora času je zhruba 5 %. [1]

Až další práce ve výzkumu však ukáží skutečný význam snižování hmotnosti pohyblivých hmot a instalaci vysokých hodnot zrychlení pohybových os na celkovou energetickou náročnost stroje.

2 Analýza současného stavu obráběcího stroje a příslušenství.

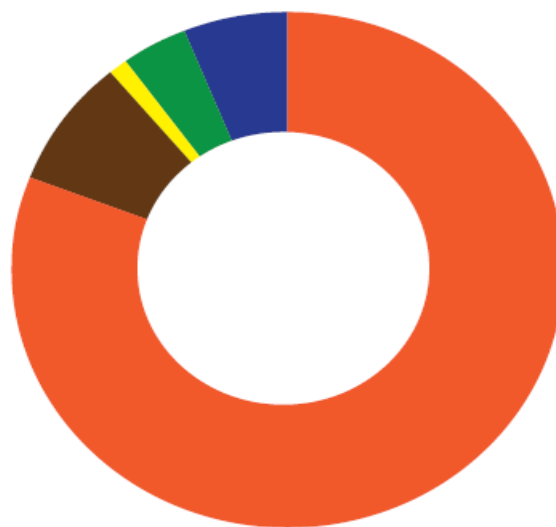
Následující kapitola se bude zabývat analýzou současného stavu obráběcího stroje v podniku Vítkovice Power Engineering a.s. Pro generální opravu a modernizaci byla zvolena vodorovná vyvrtávačka z důvodu svého morálního a fyzického stáří.

2.1 Charakteristika společnosti Vítkovice Power Engineering a.s.

Vítkovice Power Engineering a.s., vytvořená ke dni 1. 6. 2008, je dceřinou společností Vítkovice a.s. Je součástí strojírenské skupiny Vítkovice Machinery Group. Prioritními trhy pro společnost VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. jsou především trhy České republiky a Slovenska, dále trhy Ruska, Turecka a zemí Evropské Unie. Společnost ale působí i na trzích jiných zemí, zejména v oblasti kusových dodávek tlakových nádob a ocelových konstrukcí. Výrobní program společnosti je členěn do několika oborů (obr. 20).

Základní členění prodeje dle tržeb v roce 2012

Energetika	81%
Zařízení pro chemii a petrochemii a Nuclear Power	8%
Úpravy surovin	1%
Ekoengineering	4%
Ocelové konstrukce	6%



Obr. 20 Výrobní program společnosti [3]

Energetika a zařízení pro úpravu surovin

Klasická energetika je hlavním oborem působení společnosti. V posledních letech se však koncentruje do rekonstrukcí a výstavby elektráren v České republice (elektrárny Tušimice, Pruněřov, Ledvice a Počerady) i v zahraničí. Od roku 2010 jsou dodávky v oboru klasické energetiky podporovány moderní technologií výroby membránových stěn.

Za klíčové projekty v této oblasti můžeme zmínit kompletní rekonstrukci elektrárny Tušimice II a Pruněřov II, stavba elektrárny Ledvice a uhelné elektrárny YUNUS EMRE v Turecku. V úseku úpravy surovin se pak společnost podílela na opravě koksovacích

komor pro společnost U. S. Steel Košice a byl uzavřen kontrakt s Indií na dodávku obsluhovacích strojů.

Energetické strojírenství

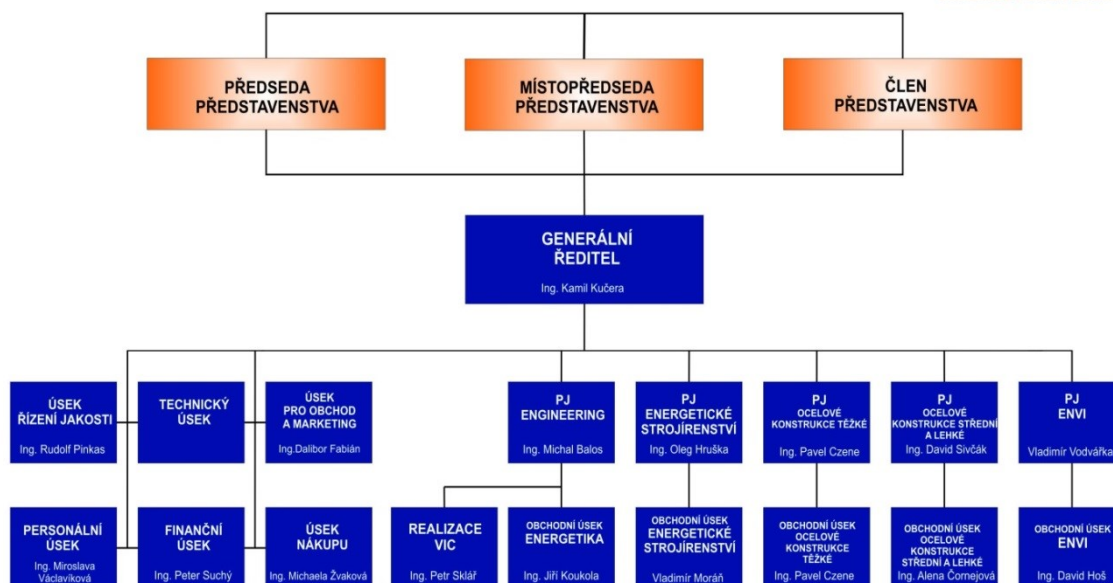
Zde se jedná o výrobu zařízení pro tepelné elektrárny, zejména pak pro tlakovou část kotelny (tlakové nádoby, membránové stěny, trubkové svazky, tlaková potrubí), netlakovou část (vzduchovody, spalínovody, ventilátory, systém zapalování, dopravníky, drtiče, ohřev vzduchu a zauhlování), zařízení pro filtraci a čištění spalin (odlučování prachových částic, snižování kyselých plynů a emisí oxidů dusíku) a části pro strojovnu (parní turbíny, generátory, systémy kondenzace a regenerace, spojovací potrubí ocelové konstrukce). Byly dodány také kulové zásobníky pro Lovochemie Lovosice. Zajišťují se také vybrané servisní činnosti, např. na parogenerátorech a kompenzátorech.

Ocelové konstrukce

V rámci rekonstrukcí i výstavby nových elektráren se v této jednotce vyrábí střední i těžké ocelové konstrukce, např. nosné ocelové konstrukce kotlů, uhelných bunkrů a hal. Kromě konstrukcí pro energetiku se společnost zabývala i výrobou ocelové konstrukce pro Městský stadion v Ostravě-Vítkovicích, pro spalovnu odpadů ve městě Temiscaming v Kanadě, dále konstrukce pro sodnou odparku firmy Biocel Paskov, rekonstrukce ocelárny v Port Talbot v Anglii, do Rakouska pak portálové jeřáby a mnoho dalších. Do této jednotky spadá i podnikatelská jednotka HARD Jeseník, která se specializuje na výrobu halových systémů.

Ekoengineering

Obor ekoengineering se zabývá výrobou nadzemních šroubovaných nádrží ze smaltovaných plechů a součástí pro čistírny odpadních vod, nádrží a sil pro skladování kapalných a sypkých látek agresivního a neagresivního charakteru a jímky pro bioplynové stanice. Dalšími obory jsou žárové zinkování a speciální nástřiky kovových a keramických povlaků [3].



Obr. 21 Struktura společnosti [3]

2.2 Popis stávajícího zařízení

Vodorovná vyvrtávačka W 200 HC a otočný stůl S100 C

Výrobce: Škoda Plzeň

Rok výroby: 1988

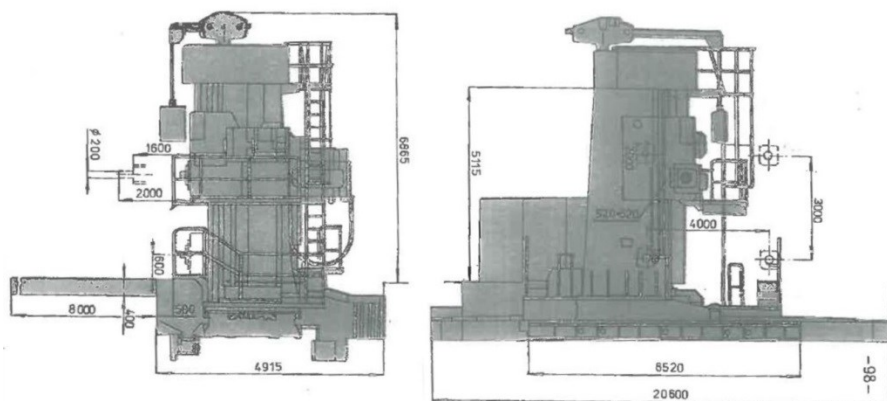
Číslo pracoviště: 04832

Inventární číslo stroje: 44153

Charakteristika:

Vodorovná vyvrtávačka je stěžejní zařízení pro vrtání děr v kotlových pláštích, opracování dělicích ploch (např. skříní plynových turbín), a ploch stojanů, rámu.

Je to vysoce výkonný a přesný obráběcí stroj s velkým instalovaným výkonem pro pohon včetně i posuvů. Je určen pro frézovací, vrtací a vyvrtávací práce na nejtěžších obrobkách. Na čelo výsuvné pinoly se dají upevnit různé typy frézovacích hlav a dalšího příslušenství, které rozšiřují možnosti obrábění při jednom upnutí obrobku.



Obr. 22 W200 HC [3]

Stojan se svisle přestavitelným vřeteníkem je posuvný na příčném loži ve směru kolmo na osu vřetena. Lože je čtyřdráhové, vodící plochy jsou automaticky mazány a chráněné teleskopickými kryty. Nitridované vrtací vřeteno se posouvá v dutém frézovacím vřetenu, které je valivě uloženo v čtyřboké pinole posuvné v tělese vřeteníku. Toto řešení umožňuje pracovat vždy s nejmenším vyložením vřetena. Vrtací vřeteno i pinola se posouvají kuličkovými šrouby. Průhyb pinoly při výsuvu je automaticky vyrovnáván. Vrtací a frézovací vřeteno je poháněno stejnosměrným regulačním elektromotorem přes čtyřstupňovou předlohu. Posuv stojanu, vřeteníku a posuv vřetena a pinoly jsou odvozeny od tří samostatných posuvových jednotek s třístupňovou předlohou, poháněných stejnosměrnými elektromotory. Otáčky i posuvy jsou plynule řiditelné. Převodové stupně se řadí dálkově. Pohybové části stroje se v nastavené poloze automaticky zajišťují.

Obsluha stroje je převážně soustředěna na plošině, na které je i zařízení pro číslicovou indikaci polohy nástroje ve třech souřadnicích a světelná signalizace správné funkce mazání, správného zařazení převodových stupňů i dalších funkcí a případných poruch. Obrobky se upínají na základovou upínací desku nebo na přídatný otočný stůl.

Zvláštní příslušenství:

Zařízení pro řezání závitů, chlazení nástrojů, zvedák obrobků, plošina na odkládání nástrojů, číslicové řízení stroje, frézovací hlavy, opěra vrtací tyče, vibrační dopravník třísek, základové upínací desky.

Tab. 2 Technické parametry W200 HC [3]

Průměr vrtacího vřetena	mm	200
Kužel ve vřetenu	metrický	120
	ISO	60
Rozměry průřezu pinoly	mm	520x520
Krouticí moment na frézovacím vřetenu	Nm	35 000
Otáčky vřetena	min ⁻¹	1,6-630
Vysunutí vrtacího vřetena	mm	2 000
Vysunutí pinoly	mm	1 600
Základní pojezd vřeteníku po stojanu (osa Y)	mm	5 150
Základní pojezd stojanu po loži (osa X)	mm	4 000
Prodloužený pojezd stojanu po loži (osa X)	mm	20 000
Otáčky vřetena plynulé	ot/min	0,8-800
Pracovní posuvy:		
stojanu a vřeteníku	mm min ⁻¹	0,5-100
vřetena a pinoly	mm min ⁻¹	0,5-1000
Rychloposuvy:		
stojanu a vřeteníku	mm min ⁻¹	6 000
vřetena a pinoly	mm min ⁻¹	3 000
Výška lože	mm	550
Šířka vedení na stojanu	mm	1 700
Šířka vedení na loži	mm	2 000
Půdorysná plocha stroje:		
délka	mm	12 250
šířka	mm	7 385
výška základního provedení	mm	8 320
Hmotnost stroje základního provedení	kg	86 200
Celkový příkon stroje	kW	180
Výkon hlavního pohonu	kW	77

Otočný stůl S100C

Otočný stůl 0-360°

Nosnost 100 t

14 T drážek 36H12 ČSN 021030

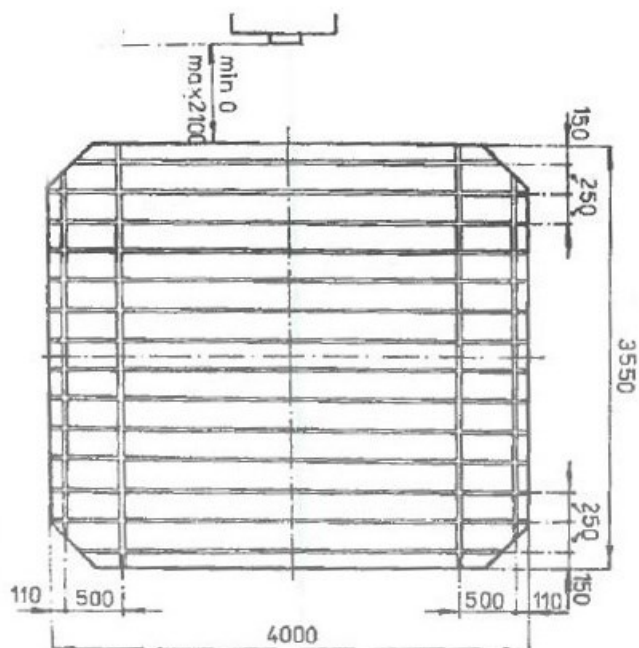
4 drážky 15x30 mm

Základová deska:

Únosnost 150 kN/m²

12 T drážek 36H12 ČSN 021030

Vedle otočného stolu je upínací pole, které je společné se stroje W200G/NR



Obr. 23 Otočný stůl S100C [3]

2.3 Současný stav zařízení

Horizontka, vyrobená v roce 1988, je velmi fyzicky a morálně zastaralá. Stroj byl používán pro zakázkovou výrobu velkých dílců. Pracoval ve dvousměnném provozu (16 hod/den), Po-Pá. Technický stav je velmi špatný a je na hranici provozovatelnosti. Základní dynamické uzly jeví známky velkého opotřebení. Funkční pohybové plochy pohybové plochy os X, Y, Z, tvořené kombinací kalená ocel-plast, mají špatnou geometrii a jsou velmi opotřebené. Taktéž kuličkový šroub vedení osy Y je opotřebovaný. Odměřování stroje je zastaralé. Pohon osy X je zastaralý a opotřebený, řešený pomocí ozubeného hřebene a pastorku. Kalené pojezdové plochy u vřeteníku opotřebované, kuličkový šroub, ložiska a uložení vychozené. Hydrostatické vedení stolu je velmi poruchové. Upínací nářadí, kužely ISO 60, jsou opotřebené a mechanicky poškozené, převážná většina nástrojů je velmi opotřebená. Ložiska kladek vyvažování vřeteníku jsou opotřebené. Ke stroji je nedostatek náhradních dílů. Řídicí systém je velmi zastaralý a poruchový. Elektrické vybavení stroje je celkově špatné a poruchové. Plošina obsluhy z funkčního a bezpečnostního hlediska zastaralá, neexistující zajištění pracovního prostoru z hlediska BOZP.

Stroj je umístěn na VI. hale, v blízkosti tryskacího zařízení, lisu LVD 1100 s tím, že přilehlá plocha se nouzově používá jako operativní plocha pro lakování. To má velmi negativní dopad na celkovou funkci stroje.



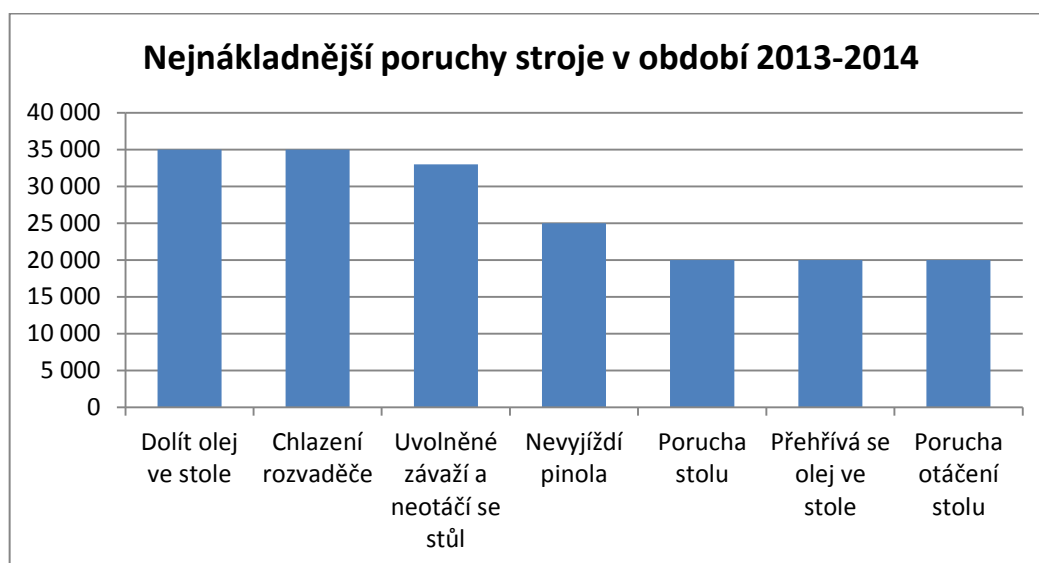
Obr. 24 Současný stav W200 HC

Údržba stroje nebyla na žádoucí úrovni a byla značně zanedbána. Minimální základní preventivní údržbu, např. čištění pojezdů a vřetene prováděl obsluhující pracovník. Zavedený byl 1. stupeň údržby, tj. minimální prevence předcházení poruch, poruchy byly odstraňovány až poté, co nastaly. Stav údržby a prevence se projevil na velkém počtu poruch. Za období od 1. 1. 2013 do 31. 12. 2014 je evidováno 124 poruch s celkovými náklady na jejich odstranění přibližně 720 000,- Kč. Při odstávce z důvodu poruchy byla odhadnuta 1 hodina prostoje na 2 800,- Kč.

Tab. 3 Nejnákladnější poruchy stroje v období roku 2013-2014

Nahlášený problém	Řešení
Nevyjíždí pinola	Byl vyměněn jeden kus elektromotoru MF132M-T 11,9kW, 4 hodiny práce elektrikáře stroje, náklady za poruchu přibližně 25 000,- Kč
Uvolněné závaží a neotáčí se stůl	Práce zámečníka a elektrikáře cca 100 hodin, celkové náklady za poruchu 33 000,- Kč
Porucha stolu	Vyměněno zubové čerpadlo, práce zámečníka a elektrikáře cca 50 hodin, celkové náklady za poruchu 20 000,- Kč
Přehřívá se olej ve stole	Oprava čerpadla, vyměněn olej, práce zámečníka a elektrikáře cca 40 hodin, celkové náklady za poruchu 20 000,- Kč
Dolít olej ve stole	Vyměněno zubové čerpadlo, filtrační vložky a přepouštěcí a jednosměrný ventil. Práce zámečníka cca 25 hodin, celkové náklady za poruchu 35 000,- Kč
Porucha otáčení stolu	Kooperace s ARGO - HYTOS Protech s.r.o. Práce zámečník, el. montér a soustruh cca 35 hodin, celkové náklady za poruchu 20 000,- Kč
Chlazení rozvaděče	Zajišťuje se servis fy EFRIG, vadné kompresor-vyměněn za nový. Celkem náklady za poruchu cca 35 000,- Kč

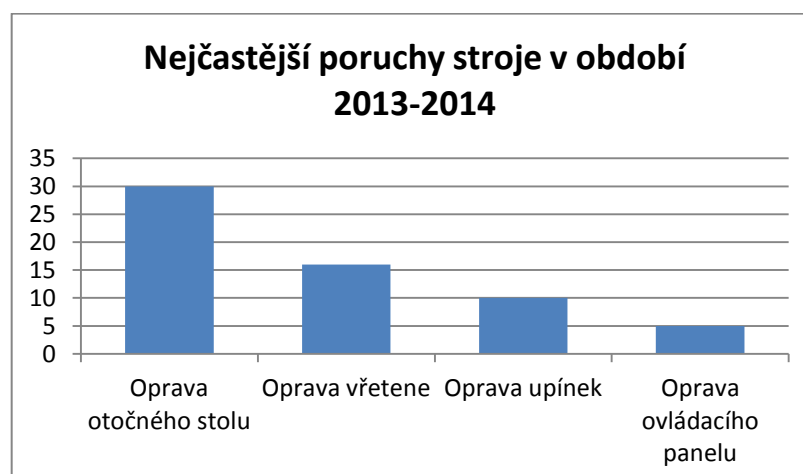
Graf 1 Nejnákladnější poruchy stroje v období 2013-2014



Tab. 4 Nejčastější poruchy stroje v období roku 2013-2014

Problém	Počet poruch	Popis
Oprava otočného stolu	30	Z velké části se jedná o příliš nízkou hladinu oleje nebo porucha hydrauliky, případně porucha motoru stolu, nebo jiná nespecifikovaná porucha. Celkové náklady na poruchy cca 200 000,- Kč
Oprava vřetene	16	U většiny poruch jde o poruchu nastavení otáček, dále porucha výsuvu pinoly a nakonec velká vůle vřetene. Celkové náklady na poruchy cca 110 000,- Kč
Oprava upínek	10	Většinou uvolnění upínek (nahlášeno že tzv. „fučí“). Celkové náklady na poruchy cca 30 000,- Kč
Oprava ovládacího panelu	5	Především se jedná o zapadlá tlačítka, celkové náklady za druh poruchy cca 7 000,- Kč

Graf 2 Nejčastější poruchy stroje v období 2013-2014



3 Rozbor analýzy, stanovení cílových požadavků.

Účelem GOMO (Generální oprava a modernizace) je zajištění dalšího provozu tohoto stroje, zvýšení produktivity opracování, a zvýšení možnosti přesného opracování. Zařízení po GOMO umožní efektivní obrábění velkého množství hlubokých otvorů trubkovnic pro komponenty jaderných elektráren, kotlových těles v obtížně obrobitelných ocelích o tloušťkách až 800 mm. Vyvrtávačka bude zároveň využita i pro klasické frézovací, vyvrtávací a závitovací operace. Bude umožňovat stabilní proces opracování s pomocí monitorování a adaptibilního řízení, s použitím příslušných procesních kapalin s odpovídajícím zařízením, zaručujícím požadovaný tlak a vlastnosti kapaliny v místě řezu.

Konstrukce by měla zajišťovat splnění funkčních požadavků současně s umožněním výroby (provedení) s minimální pracností a v optimálním rozsahu hmotnosti - tj. musí být zajištěna technologičnost. Dále je nutné u stroje zakomponovat prvky BOZP a je vhodné stroj modernizovat s přihlédnutím na snižování jeho energetické náročnosti.

Doporučení pro opravu:

- Provést hloubkovou prohlídku stroje.
- Generální oprava a modernizace všech uzlů stroje, oprava mechanických částí stroje, kompletní výměna elektroinstalací, okruhů hydrauliky a mazání.
- Stroj doplnit moderním CNC 3osým řízením.
- Zakomponovat moderní prvky BOZP (Bezpečnost a ochrana zdraví při práci).
- Navrhnout nové upínací systémy náradí a progresivní nástroje generace.
- Navrhnout prvky stroje snižující jeho energetickou náročnost.
- Zvážit přemístění přilehlých pracovišť, resp. jejich omezení tak, aby měly co nejmenší negativní vliv na funkci a činnost stroje.

Cílem modernizace bude i výběr vhodného zařízení z vybraných nabídek, dle požadavků, které byly v podniku stanoveny.

4 Návrh vhodné přípravy a provedení opravy modernizací zařízení.

V následující kapitole uvedu základní prvky stroje, které se opravují a modernizují. Dále navrhnu minimální prvky k modernizaci stroje W200 HC a návrh k údržbě stroje. Nakonec porovnáím nabídky ke GOMO stroje od různých firem a vyberu tu nejvhodnější.

4.1 Možnosti opravy a modernizace stroje

Modernizace by měla proběhnout na všech částech obráběcího stroje. Základní modernizaci můžeme rozdělit na modernizaci mechanické a elektrické části stroje. V rámci mechanické části se oprava a modernizace sestává z demontáže a očištění, povrchové úpravy, přebroušení vodících ploch lože a modernizace kluzných ploch, instalace či výměna kuličkových šroubů, kompletní oprava vřeteníku, rekonstrukce mazacích a hydraulických rozvodů, oprava teleskopických krytů a osazování doplňkovými systémy. V rámci elektrické části je nainstalován nový řídicí systém, osazení novými pohony, digitálním odměřováním a kompletní výměna všech kabelových rozvodů.

4.1.1 Odměřování polohy

Odměřování tvoří důležitou část stroje a má velký vliv na přesnost. Průběžné a spolehlivé měření délek pojezdů je při obrábění velmi důležité. U konvenčních obráběcích strojů by měl měřicí systém vykazovat toleranci od 0,1 do 0,001 mm a to absolutně i při opakovaném najetí do souřadnice. Lze tak využívat systémy indikace polohy s předvolbou souřadnice. Ty se skládají z číslicového odměřování polohy a vyhodnocovacího zařízení, které převádí signál z odměřovacího systému na indikační panel.

Odměřovací zařízení lze rozdělit do dvou skupin. Absolutní a inkrementální snímání polohy. Při absolutní snímání se vychází vždy od nuly obrobku a do programu se zadávají souřadnice bodů. To může být výhodné při špatném zadání programu. Inkrementální odměřování se naopak souřadnice určují připočítáním nebo odečítáním vzdálenosti k předchozímu bodu. Nevýhodou tak je, že pokud zadáme souřadnice bodu špatně, další souřadnice budou odečteny také špatně. Nevýhodou je také nutnost po každém zapnutí stroje najet do referenčního bodu, aby došlo ke sjednocení souřadnic stroje a odměřování.

Pro modernizace konvenčních strojů se doporučuje odměřování pomocí optického pravítka. To má snadnou montáž a vysokou přesnost.

Zařízení pro odměřování by mělo splňovat tyto podmínky:

- Jednoduchá montáž na stroj.
- Odolnost proti chladicí kapalině.
- Spolehlivý provoz.
- Rychlé a spolehlivé odečítání hodnot.
- Libovolné nastavení polohy ve vztahu k jednomu či více vztažným bodům.
- Určení vztažných bodů.
- Vyvolání referenčního bodu.
- Zobrazení zbytkových hodnot dráhy, která má být ujeta.
- Kompenzace rádiusu nástroje.

Mezi světové výrobce patří Heidenhain. Další výrobci např. ACU-RITE GmbH, Larm a.s., RSF Elektronik, ESSA s.r.o.

Snímače Heidenhain

Doporučil jsem snímače od firmy Heidenhain. Mají prověřenou kvalitu i dobré parametry.

Lineární snímače Heidenhain modelové řady LC200

Tyto lineární absolutní snímače polohy jsou koncipovány pro zvláště dlouhé dráhy měření. Jejich měřítko – ocelový pásek s dělením METALLUR, resp. AURODUR – se dodává v jednom kuse a po částečné montáži pouzdra se zamontuje, napne se definovaným způsobem a na obou koncích se pevně spojí s ložem stroje.



Obr. 25 lineární snímač Heidenhain LC200 [4]

LC 200

- Absolutní snímání délky měření až 28 m.
- Definované chování při zahřívání.
- Vysoká odolnost proti vibracím.
- Dvě montážní polohy.
- Velkoplošné snímání.

	LC 211/LC 281 LC 291 F/M
Provedení měřítka	Ocelový měřicí pásek METALLUR
Perioda dělení	40 μ m
Rozhraní	LC 211: EnDat 2.2 LC 281: EnDat 2.2 s ~ 1 Vss LC 291: Fanuc oi/ Mitsubishi
Perioda signálu	40 μ m
Třída přesnosti	$\pm 5 \mu$ m
Měřicí délka ML	až 28 040 mm

Obr. 26 Parametry snímačů řady LC 200 [4]

Úhlové snímače

Tento typ snímačů se používá např. pro měření úhlu natočení otočného stolu. Konkrétní velikost a typ snímače by byl závislý na konstrukčním provedení stolu a dalších faktorech. Detailnější výběr snímače by musel být blíže konzultován s konstruktéry firmy. Pro názornou ukázkou uvádím příklad zařízení od firmy Heidenhain řady ERM. Dalším možným výrobcem snímačů je firma Renishaw s řadou RESOLUTE.



Obr. 27 Vestavná měřidla ERM řada 200 [4]

4.1.2 Vedení

Kluzná vedení bez obložení

Přímočará kluzná vedení, u nichž je kluznou dvojicí kombinace klasických materiálů ocel a šedá litina se opravují především přebroušením (případně i přefrézováním) základních kluzných ploch a doškrabáváním. Tato vedení se vyznačují velkými pasivními odpory ve směru pohybu a při malých posuvových rychlostech vznikají trhavé pohyby. Mají však dobrou tuhost a schopnost tlumit chvění, levný provoz, snadnou údržbu ale nízkou životnost. I při správné rekonstrukci kluzného vedení bez obložení se ale nedá hovořit o nějak výrazné modernizaci stroje.

Kluzná vedení s obložením

Použitím vhodného obložení můžeme nedostatky kluzného vedení do značné míry odstranit. Součinitel tření je s použitím obložení o 20 – 90 % nižší a trhavé pohyby jsou ve většině případů odstraněny. Opotřebení je přibližně stejné a vedení se nezadírá. Další výhodou je, že odpadá přesné opracování pohyblivé části vedení, např. na stojanu, na kterou se hmota nanese a její tvar se pak obtiskne z vodících ploch nepohyblivé části, např. lože. Podstata dobrých vlastností spočívá v dobrých kluzných vlastnostech základního materiálu (převážně epoxydové pryskyřice) a v použití vhodné maziva (tuhá nebo plastická) jako plnidla do základního materiálu. Taková plnidla pak zajišťují mazání i za sucha bez přítomnosti oleje, což má za následek velké snížení součinitele tření v oblasti polosuchého tření, např. při malých rychlostech posuvu. Jako protipovrch se při velkém zatížení používá kalená ocel (60 HRC) nebo litina (240 HB).

Materiály pro obložení můžeme rozdělit do tří skupin:

- Připevňované v tuhém stavu lepením nebo mechanicky.
- Nanášené v kašovitém stavu.
- Lité v tekutém stavu.

Materiály připevňované v tuhém stavu

Dodávají se zpravidla jako desky, folie nebo pásy. Ty se lepí nebo mechanicky připevňují na jednu ze dvou funkčních ploch, zpravidla na pohyblivou část vedení. Obecně platí, že dosedací plocha pro obkladový materiál by měla mít drsnost $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$, pokud tedy výrobce nepředepisuje jinak.

Turcite® – B Slydeway®

Tento materiál je typickým, v zahraničí značně rozšířeným materiálem. Vyvinut ze speciálního vysoce výkonného termoplastického materiálu Turcite®. Dodává se v tloušťkách od 1,0 do 6,0 mm a šířky do 600 mm. Obvykle se lepí na kontaktní plochu pohyblivého dílu a následně se povrch opravuje frézováním, broušením či naškrabáváním. Funkční parametry je možné vylepšit vyfrézováním mazacích drážek do kluzného povrchu. Uspořádání drážek může být různé, vhodné tvary jsou kruhové a příčné vzhledem ke směru pohybu.

Biplast

Obložená kluzných drah z materiálu Biplast splňuje základní předpoklady pro kluzné vedení, mezi něž patří velmi dobré kluzné vlastnosti, teplotní stálost a vysoká stálost na oděr a tlak. Tento kopolymer se zhotovuje z acetátových pryskyřičných fólií, kaširovaných po jedné straně a spojovaných pomocí acetátové pryskyřice. Kluzné obložení má tu výhodu, že koeficient statického tření 0,18 a koeficient dynamického tření 0,15 jsou blízko u sebe a tak lze takřka vyloučit zadrhávání. Zatížitelnost materiálu závisí na mazání. Při nepatrné kluzné rychlosti a nízkých teplotách ploch jsou přípustné střední plošné tlaky, dokonce i při chybějícím mazání. Relativně vysoké rychlosti a tlaky jsou pak plně přípustné jen při dobrém mazání. Oděr protilehlé plochy po 70 km chodu je zhruba 0,0016 mm, koeficient adhezního tření za sucha je 0,18.

Metaloplast SP-25L

Český výrobek vyvinutý Státním výzkumným ústavem materiálů. Dodává se ve fóliích tloušťky 0,48 mm, šířky do 150 mm a délky svitků 3-25 m. Nosnou strukturou je bronzová mřížka vyplněná teflonem. Je možné dodat i folie plněné grafitem, elektrografitem, skleněnými vlákny nebo bronzem a tloušťce do 2 mm. METALOPLAST® má dobré kluzné vlastnosti, dobrou odolnost proti opotřebení, schopnost dlouhodobého provozu bez mazání, dá se brousit a je poměrně levný.

Materiály nanášené v kašovitém stavu

Jde o materiály na bázi epoxidových pryskyřic s vhodnými plnidly. Mezi známější hmoty u nás patří například SKC-3, DIAMANT-MOGLICE, GAMAPEST. Všechny tyto hmoty mají přibližně stejné vlastnosti. Kluzné vlastnosti jsou lepší než u klasických dvojic ocel nebo litina, ale nejsou tak dobré jako u plastických hmot Turcitu a Biplastu. Mají dobrou odolnost proti opotřebení a nezařídají se a dají se obrábět a zaškrabávat. Nevýhodou je však zdlouhavé ustavování při nanášení a potřeba podpěr a měřidel.

Materiály lité v tekutém stavu

Jsou to také materiály na bázi epoxidových pryskyřic plněných různými plnidly. Od přechozích materiálů se v podstatě liší jen viskozitou při nanášení. Představiteli těchto hmot jsou např. německý EGRATHEN 1020 nebo EPILOX EGK 106. V současné době se používá spíše hmota GS- super fluid nebo GAREX. Plochy určené pro nalití hmoty se obrábí na $R_a = 6,3 \mu\text{m}$. Tloušťka vrstvy se pohybuje od 1,5 mm do 2,5 mm. Výhodou je

snadné vytvoření mazacích drážek odlitím jejich tvaru. Nevýhodou může být složitější a přesné ustavení obou částí a delší doba vytvrzování.

Vyhodnocení kluzných materiálů

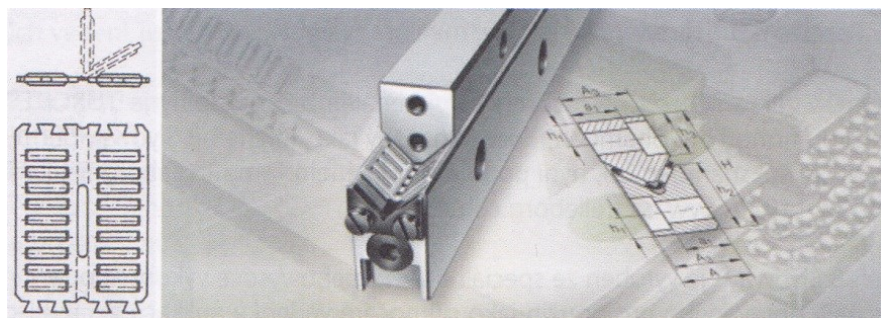
Můžeme určit, že nejhorší kluznou dvojicí je ocel-ocel. Lepší výsledky poskytuje kombinace litina-litina. Materiály na bázi plněných epoxidových pryskyřic mají přibližně stejné kluzné vlastnosti, ale jsou výrazně lepší než u klasických kluzných dvojic. Nejlepší kluzné vlastnosti poskytují materiály na bázi teflonu (Turcite), u kterých bylo dosaženo 2-3 krát menších velikostí poskoků a součinitele tření než u materiálů epoxidových. Protiplochy vedení mohou být kalené ocelové i litinové. Ocelové plochy jsou však výhodnější při vyšších měrných tlacích, jelikož dochází k menšímu opotřebení než u litiny, u které dochází k zamačkávání hmoty do jejích pórů. Všechny vodící protiplochy musí být jemně broušeny obvodem kotouče. Drsnost se pohybuje v závislosti na druhu hmoty, materiálu protiplochy a tlaku.

Hydrostatické vedení

Princip je založen na dodávce tlakové oleje mezi dvě vodící plochy. Tím se docílí kapalinového tření. Vyznačuje se minimálním odporem proti pohybu, výbornými tlumícími vlastnostmi a minimálním provozním opotřebením, jelikož se plochy sebe nedotknou ani při nulových rychlostech. Hydrostatické vedení je vhodné pro velmi přesné stroje s vysokým nárokem na malý polohovací krok, má výborné tlumící vlastnosti vhodné pro tvrdé obrábění a pro těžké stroje. Nevýhodou jsou vysoké požadavky na tuhost vedení, aby tloušťka filmu byla všude stejná. Dále je potřeba speciální čerpadlo a speciální rozvod tlakového oleje, který se musí pečlivě kontrolovat. Celá konstrukce vedení je komplikovaná a je nákladná na provoz a údržbu. Příklad hydrostatického vedení je na obr. 3.

Vedení s valivými elementy

Podobně jako v případě náhrady trapézového šroubu kuličkovým šroubem je možnost doplnit stroj prvky pro lineární vedení např. pomocí valivých hnízd s recirkulací valivých tělísek (výrobci např. INA, SKF, ROTAX, atd.). Ne vždy je však možnost takové náhrady, jelikož valivá hnízda vyžadují značnou úpravu profilu vedení. Určité řešení představují jehlová ložiska uložená v páscích (výrobci např. INA, atd.), které umožňují jejich aplikaci na plochá a trojúhelníková vedení.



Obr. 28 Příklad vedení s vloženými jehlovými pásky firmy INA [1]

4.1.3 Řídicí systém stroje

Pro modernizaci vyšší úrovně lze doporučit systémy renomovaných světových výrobců, jako jsou Siemens, Fanuc a Heidenhain.

Siemens:

Řídicí systém pro vrtací, frézovací a soustružnické stroje Sinumeric řada 802, 810, a 840. Integrovaná část PLC řízení, maximální počet 31 řízených os dle typu řídicího systému a implementovaného systémového softwaru.

Sinumeric 840D sl je důvodů považován za vzor třídy Premium CNC systémů řízení. Nejvyšší výkon, flexibilita a otevřenost jsou základem pro téměř každý koncept stroje. Vysoce výkonné frézování a soustružení je jednou ze silných stránek tohoto systému. Otevírá však téměř nevyčerpatelný rozsah technologických operací od broušení a laserové obrábění přes obrábění ozubených kol až po multitasking obrábění. Díky své vynikající flexibilitě otevírá zcela nové možnosti.

S PROFINET, SINUMERIK 840D sl je dokonale integrován do prostředí Siemens TIA (Totally Integrated Automation). TIA představuje bezkonkurenční celkovou integraci od úrovně výroby až po úroveň řízení výroby.

Přehled o technologii:

- Modulární CNC systém.
- Multitechnologie.
- Až 93 os/vřeten.
- Až 30 kanálů pro zpracování programu.
- Modulární koncepce panelu s barevným displejem do velikosti 19''.
- SIMATIC S7-300 PLC.

Heidenhain:

Firma Heidenhain už 20 let dodává systémy řady TNC. Výhodou systémů TNC je, že základní koncepce zůstala nezměněná. Obsluhující pracovník, který dosud pracoval se staršími systémy TNC se tak nemusí učit velké množství nových věcí. I na systémech nejnovější řady iTNC 530 hned uplatní své zkušenosti.

Systém iTNC530 je všestranným, konturově orientovaný řídicí systém pro vyvrtávací, frézovací a vrtací stroje i obráběcí centra. Disponuje vlastnostmi jako optimalizované řízení pohybu, krátká doba zpracování bloku a speciální strategie řízení. Umožňuje dosahovat vysokých obráběcích posuvů a nejlepší možnou obrysovou přesnost při obrábění 2D kontur a 3D tvarů. Program disponuje systémem pro dynamickou kontrolu kolizí DMC, která opakovaně sleduje obráběcí prostor na stroji z důvodu případné kolize. Systém adaptibilního řízení posuvů AFC automaticky reguluje posuv v závislosti na zatížení vřetene a jiných datech procesu.

Fanuc:

Fanuc představuje celosvětově uznávaný standart v oblasti CNC systémů. Standartní verze pokrývá široký rozsah aplikací od jednoduchých frézek a soustruhů až po komplexní obráběcí centra. Je snadno přizpůsobitelný konkrétnímu stroji díky širokému rozsahu hardwarových možností a individuálním sestavením softwaru.

Systémy řízení řady 0i až 32i s maximálním počtem až 48 os a až 24 současně řízených os. Řízení může probíhat až v 10 kanálech. Disponuje pamětí až 8MB vnitřního programu. Až 3 programy mohou být spuštěny současně. Doba náběhu do 30 vteřin od zapnutí stroje.

4.1.4 Automatická výměna nástrojů

Výměna nástrojů je problematika, které by se měla věnovat pozornost při modernizaci obráběcího stroje. Současné trendy jsou takové, že každý moderní obráběcí stroj obsahuje nějakou formu automatické výměny nástrojů (AVN). Volba druhu AVN závisí především na druhu obráběcího stroje a jeho ceně. Kategorie zásobníků AVN vhodná pro těžké obráběcí stroje jsou systémy se samostatným skladovacím zásobníkem.

Tuto kategorii můžeme rozdělit na:

- PICK-UP – lineární, diskové nebo řetězové.
- Pohyblivý zásobník s manipulátorem – s kruhovým nebo obecným pohybem.
- Stacionární zásobník s manipulátorem – vodorovné, svislé nebo kombinované.

Užití středokapacitních a malokapacitních zásobníků je typické právě pro oblast modernizovaných obráběcích strojů, což je dáno faktem, že se jedná o stroje, na které nebyly kladeny takové nároky na bezobslužný provoz. Jelikož takto modernizované stroje nebudou pracovat v bezobslužném automatickém cyklu, tak není potřeba je vybavovat velkokapacitními zásobníky.

Při volbě systému AVN bychom měli brát v úvahu potřebnou kapacitu zásobníku. Pokud je zásobník pohyblivý tak bychom měli dbát na jeho nízkou hmotnost, tudíž i kapacitu. Sníží se nám tak hmotnost pohybujících hmot, tudíž i opotřebení strojních částí a snížíme časy pro výměnu nástrojů. V případě stacionárního zásobníku můžeme využít velké množství nástrojů. Snížíme tím i zatížení stojanu a zvýšíme přesnost, protože stojan nebude zatížen hmotností zásobníku nástrojů. U tohoto řešení však bude časová prodleva výměny nástroje delší. Musíme počítat s časem výměny nástroje a s časem vyjetí a znovu najetí do místa řezu. Samozřejmostí při volbě systému AVN by měla být možnost výměny frézovacích hlav a jiného příslušenství.

Konkrétní volba systému AVN závisí na mnoha faktorech, především konstrukci stojanu, zda by bylo možné aplikovat konkrétní typ zásobníku. Jednou z možností, často používaných u horizontek, je PICK-UP systém s ramenem pro výměnu ve vodorovné i svislé poloze a řetězovým zásobníkem malé nebo střední kapacity umístěném na stojanu. Nástroje jsou upnuty do upínacího kužele. Případné frézovací hlavy a další speciální příslušenství je v externím speciálním stojanu určeném pro AVN systémem PICK-UP.

Světovými výrobci systémů pro AVN jsou firmy Miksch, Gifu, Aeni, Pragati atd. V ČR systémy AVN nabízí např. FERMAT, TOS Varnsdorf, VÚTS a.s. apod.



Obr. 29 Systém ATC4-60 od VÚTS a.s. [6]

4.1.5 Teleskopické kryty

Kryty chrání vodící plochy a komponenty pohyblivých os strojů proti vysoké teplotě třísek a chladicí kapalině.

Posoudit možnost repase krytu. Kryt vyrovnat. Nenávratně poškozené části vyměnit. Vyměnit kluzáky za plastové, mosazné nebo jiné s nízkým součinitelem tření, případně použít valivé elementy. Horizontální krytování se zešíkmenými stranami a dopravník třísek po obou stranách. Výměna stěračů za nové s nízkým odporem a snadnou vyměnitelností. První element krytů pochůzný.

Výrobci v ČR jsou Wiktori s.r.o., Hestego a.s., Tecnimetal a.s.

4.1.6 Oprava úložných ploch pro valivá ložiska

V případě vnitřních kroužků se jedná zejména o hřídele, vřetena apod. Na hřídelích se po čase projeví opotřebení, které způsobí volné uložení ložiska. Pokud se nepřistoupí k výrobě nové hřídele, je možná oprava technologií tvrdého chromování, kdy se nanese patřičná vrstva tvrdého chromu na hřídel a následně se obrousí do původní podoby.

V případě vnějších kroužků se jedná o skříně vřeteníků, převodovek, stojanů apod. i zde se může projevit zvětšení či deformace úložného otvoru vlivem průhybu uložených částí. Zde je však oprava složitější. Pokud není dostatek prostoru k aplikaci většího ložiska,

můžeme v některých případech provést vyvločkování otvoru, který však vyžaduje určitý zvětšený prostor kolem ložiska. Další možností je oprava navařením materiálu a obrobením do původní tolerance. V případě zjištěných malých vúlí, je možné použít i opravu lepením.

4.2 Doporučený rozsah opravy stroje Škoda W 200 HC

Oprava a modernizace se bude týkat mechanické části (lože, stojan, vřeteník, stůl), elektrické části, stavební části, nástrojového hospodářství a ostatního příslušenství.

4.2.1 Mechanická část:

Lože:

- Vodící plochy (osa X) - kontrola, budou obrobeny a přebroušeny, případně zaškrabány. Případně obložení kalenými lištami.
- Odměrování - obrobení dosedacích ploch pro lineární odměřovací zařízení, instalace nového lineárního odměrování Heidenhain LC200, případně řada LB.
- Pohon osy X – Pohon osy X v provedení Master-Slave - pomocí ozubeného hřebene a dvojicí předepnutých pastorků. Kontrola, zakalení a přebroušení ozubených hřebenů nebo výroba nových, výroba nových pastorků. Výměna elektromotorů.
- Okruhy rozvodů vzduchu, chladicí kapaliny a hydrauliky vyčištěny, opraveny a přetěsněny. Pořízení nových agregátů.
- Mazání – pořízení nového centrálního mazání, včetně rozvodů, prvků a agregátu.
- Teleskopické kryty – repase, případně výměna.
- Kotevní šrouby - kontrola stavu, případná výměna za nové. Ustavení lože.

Stojan, plošiny, manipulační konstrukce:

- Vodící plochy osy X – kontrola, obrobení na příslušnou drsnost, obložení Turcitem, eventuálně jinou hmotou s nízkým součinitelem tření. V úvahu přichází i varianta s hydrostatickým vedením v ose X. Hydrostatika má ale velké pořizovací a provozní náklady. Vyznačuje se ale minimálním odporem proti pohybu, minimálním provozním opotřebením a výbornými tlumicími vlastnostmi. Musí se

porovnat, zda je tato varianta ekonomicky výhodnější vzhledem k podávanému výkonu. Výměna stěračů vodících ploch.

- Vodící plochy osy Y - kontrola, obrobení na příslušnou drsnost, obložení Turcitem, eventuálně jinou hmotou s nízkým součinitelem tření. V úvahu může přijít i varianta vedení s valivými tělisky, například pomocí jehlových pásků. Musí se ale opět porovnat zda je tato varianta výhodnější po ekonomické i technické stránce.
- Instalace pohonu posuvu Master-Slave v ose X včetně potřebných úprav.
- Posuv osy Y - nový kuličkový šroub včetně výměny krycího měchu, matice a tělesa pro upevnění na vřeteník, nové krycí manžety kuličkového šroubu. Zvážit z konstrukčního hlediska možnost úpravy a montáže dalšího posuvu pomocí kuličkového šroubu a navýšit tím počet vedení na dva kusy kuličkového šroubu. Zvýšila by se tím přesnost obrábění.
- Teleskopické kryty osy Y – repase, případně výměna.
- Protizávaží – kontrola, obnova a zesílení vedení protizávaží, pořízení nových lan.
- Zabezpečení spodku stojanu pod protizávažím proti nahodilému vniknutí cizích předmětů vnitřkem stojanu při montáži a údržbě.
- Kontrola a oprava upínacích jednotek, výměna těsnění a ostatních vadných částí.
- Nosič energií – nový, výrobce např. KabelSchlepp nebo Tecnimetal a.s.
- Oprava žebříků, plošin, zábradlí, pomocných manipulačních konstrukcí dle BOZP.

Vřeteník:

- Kompletní demontáž vřeteníku.
- Pohybové plochy tělesa vřeteníku – úprava pro obložení Turcitem, eventuálně jinou hmotou s nízkým součinitelem tření.
- Osa Z a W - výměna 2ks kuličkových šroubů vřetene a pinoly, instalace převodovek s redukovanou vůlí, výměna všech ložisek, těsnících prvků a kontrola osazení. Posouzení možnosti využití hydrostatického uložení vřetena, které zajistí takřka nulový odpor otáčení. Toto provedení aplikovala např. firma FPT u svého stroje Spirit 460 – pinola Hydroquill.
- Přebroušení vřetene a pinoly, výroba nových ocelových součástí z ušlechtilých ocelí, nalícování do tělesa vřeteníku.
- Rekonstrukce mazání vodících ploch vřeteníku a pinoly, nové stěrače.

- Kompletně nové mazání uložení vřetena.
- Kontrola upínacích jednotek, jejich obnova.
- Nové vrtací vřeteno ISO 60.
- Pohonná skříň – kompletní rekonstrukce, výměna převodů dle kontrolního nálezu, výměna těsnících elementů, výměna ložisek, oprava řazení, oprava nebo výměna ostatních částí dle nálezu.
- Záběh, vibrodiagnostika

Otočný stůl S100C:

- Opracování funkčních ploch stroje.
- Nová ložiska uložení středu otočné upínací desky a nový mechanismus pro upevnění rotačního snímače polohy natočení stolu.
- Použit hydrostatické uložení svislé osy stolu, požadovaná nosnost stolu je 100 t.
- Závislost přípustné hmoty obrobku na výstřednosti jeho těžiště: požadovaná přípustná hmota by měla být, pokud to bude možné, minimálně 80 t při výstřednosti 800 mm.
- Kontrola ozubeného věnce stolu (vizuální, házení, deformace zubů).
- Opracování kluzných ploch saní, obložení Turcite nebo jiná hmota s nízkým součinitelem tření, opracování upínací desky stolu, včetně T drážek a boků.
- Pohon podélného posuvu stolu - kontrola, zakalení a přebroušení ozubených hřebců nebo výroba nových, výroba nových pastorků. Výměna elektromotorů a výměna převodovky za napruženou převodovku pro otáčení stolu.
- Oprava upínání a aretace.
- Nový hydraulický agregát, výměna všech hydraulických prvků.
- Kompletně nové mazání, výměna všech těsnících prvků.
- Nosič energií – nový, výrobce např. KabelSchlepp nebo Tecnimetal a.s.
- Teleskopické kryty podélného posuvu stolu – repase, případně výměna. Výměna stíracích elementů.

4.2.2 Elektrická část:

- Nové elektrorozvody po stroji - rozvaděčové skříň pro CNC, prachotěsná skříň, chlazení, nové pohony, serva a měniče pro plynulou regulaci posuvu a otáček – Siemens

- Nový motor pohonu včetně AC Siemens-100 kW.
- Regulace pohonů – nové regulátory pohonů Siemens Simodrive.
- Nové osvětlení na stojanu stroje.
- Prostředky aktivní kontroly.

Slouží pro ochranu stroje před poškozením v důsledku havárie řezného nástroje nebo přetížení stroje. Aktivní kontrola umožňuje sledovat činnost stroje a řezný proces, poškození a ustavení nástroje a rozměr obrobku během obrábění. Údaje o zatížení stroje jsou sledovány měřením výkonu hlavního pohonu a pohonů posuvů, nebo pomocí speciálních snímačů (dynamometry, extenzometry) vhodně umístěných na stroji. Monitory jsou koncipovány jako jednotky schopné komunikovat s řídicím systémem nebo obsluhou stroje. Umožňují tak chránit stroj, součást a nástroj před poškozením a zároveň využívat celý výkon stroje. Pro konvenční stroje jsou vhodné měřidla k aktivní kontrole obrobku. Ty kontrolují rozměry obrobku během procesu obrábění. Skládají se ze snímací hlavice a z elektronické části, která komunikuje s obsluhou stroje nebo řídicím systémem.

Předními světovými výrobci komponent aktivní kontroly je firma PROMETEC a Renishaw.

- Řídicí systém - SIEMENS SINUMERIC 840D

Vítkovice Power Engineering má tento řídicí systém zavedený na jiných strojích, jsou s ní dobré zkušenosti po funkční i ovládací stránce. Je tedy vhodné zavést tento systém i zde. Odpadnou případné náklady na složitější zaškolení obsluhy. K tomuto systému existuje i další software na podporu životnosti a funkčnosti stroje. Doporučuji zavést i software pro energetickou efektivitu stroje Sinumerik Ctrl+Energy.



Obr. 30 Ovládací panely Siemens [5]

Sinumerik Ctrl+Energy

Aplikace podporuje energetickou efektivitu obráběcích strojů. Zahrnuje široké spektrum vysoce efektivních součástí pohonů, softwarových řešení funkcí CNC systémů a servisních služeb. Program tak nabízí efektivní řešení energetické stránky stroje pro celý životní cyklus stroje. Stisknutím kombinace tlačítek Ctrl + E nabídne kompletní potřebné informace o energetické účinnosti stroje. Uživatel má k dispozici i inteligentní funkce jako je např. analýza energetických nákladů na výrobek.



Obr. 31 Oblasti ovlivňující energetickou bilanci stroje [7]

4.2.3 Stavební část:

- Projekt základu k úpravám
- Úprava základu pro dopravník třísek a hydraulický agregát
- Odmaštění základu, nátěr základu olejivzdornou barvou

4.2.4 Ostatní:

- Třískový dopravník - výměna vibračního dopravníku za článkový
- Vodní hospodářství - rekonstrukce včetně nádrže, oddělit od stávajícího se stroje W200G NR

4.2.5 Nástrojové hospodářství

- Kontrola a soupis všech nástrojů.
- Vrtáky a nástroje s vyměnitelnou břitovou destičkou - oprava poškozených, případně výměna za nové. Doplnění sortimentu nástrojů.
- Jednobřité nástroje - výměna celistvých za nástroje s vyměnitelnou břitovou destičkou (např. Pramet, Sandvik Coromant, Widia, Vertex apod.)
- Generální oprava příslušenství - úhlové hlavy IFW 2A a lící desky IWD700
- Chlazení nástrojů – kontrola zařízení pro chlazení, rozhodnutí o typu opravy (GO/GOMO/zajištění nového), zajištění vysokotlakého čerpadla pro dopravu řezné kapaliny pro hluboké vrtání
- Přídavné zařízení - zajištění zrychlovací hlavy, výrobce např. PIBOMULTI, TOS Varnsdorf, NAREX MTE apod.
- Automatická výměna nástrojů (AVN) – posouzení možnosti využití, které záleží na charakteru provozu, výroby a rozpočtu GOMO. Detailnější popis možnosti AVN v kapitole 4.1.4.

4.2.6 Provedení pracoviště v souladu s BOZP

Ovládací kabina na vřeteníku

Hlavní ovládací panel je umístěn mimo pracovní prostor na plošině, kde je obsluha chráněna před vlivy pracovního procesu. Kabina je uzavřena elektricky uzamykatelnými předními dveřmi pro vstup do pracovního prostoru. Výrobní režim obrábění lze spustit jen z kabiny. Výstup ze zadní části kabiny na žebřík je blokován dveřmi s elektrickým zámekem. Ovládání stroje pomocí pomocných přenosných panelů je možné za přesně specifikovaných podmínek. Stroj musí mít alespoň 3 režimy činnosti – automatický cyklus, seřizovací cyklus, ruční zásah. Volba režimu je možná pouze z ovládací kabiny. Aktivní může být pouze jeden režim. V kabině a na přenosném panelu ovladač nouzového zastavení stroje.

Pracovní prostor

Pracovním prostorem se rozumí prostor před strojem (deskové pole) kde je možné obrábět. Na vhodných místech předpokládaného výskytu osob musí být rozmístěny ovladače nouzového zastavení stroje. Pracovní prostor musí být zajištěn proti vstupu neoprávněných osob takto:

- Zajištění pracovního prostoru před strojem – ohrazení plastovými řetězy. Před vstupem do pracovního prostoru musí být stroj nejprve uveden do patřičného pracovního režimu.
- Zajištění pracovního prostoru vlevo a vpravo před strojem – pomocí vysokého pevného ohrazení (zábradlí) navazujícím na řetězové ohrazení.
- Zajištění pracovního prostoru za strojem – vysokým ohrazením (zábradlím) se vstupními dveřmi, které slouží pro přístup do prostoru lože a prostoru stroje při provádění servisních prací. Tyto vstupní dveře jsou vybaveny mechanickými zámky a doplněny koncovými spínači. V případě odemčení a otevření dveří dojde k odstavení stroje.

4.2.7 Údržba

Doporučení pro údržbu dle tab. 5 a 6. Mazací plán by byl vypracován v budoucnu podle podkladů od dodavatele mazacího systému.

Tab. 5 Údržba stroje - obsluha

Obsluha denně na začátku směny	<ul style="list-style-type: none"> • Vizuální kontrola čistoty a poškození ovládacích prvků. • Kontrola výšky hladiny a tlaku oleje v otočném stole. • Kontrola výšky hladiny oleje ve vřeteníku. • Vizuální kontrola krytování stroje. • Kontrola hlučnosti stroje. • Čištění pracovního prostoru během a po ukončení směny. • Čištění okolí stroje od prachu a nečistot.
Obsluha stroje jednou za týden	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrola a vyčištění ochranných skel pracovního osvětlení. • Kontrola filtrů. • Kontrola těsnění hydrauliky. • Kontrola stěračů vodících ploch a těsnících kroužků na vřetenu a pinole.

Tab. 6 Údržba stroje – pracovník údržby

Pracovník údržby jednou za měsíc	<ul style="list-style-type: none"> • Ošetření vřetena mazivem. • Kontrola znečištění filtrů. • Kontrola a plnění plastického maziva – náhon saní a kuličkový šroub.
Pracovník údržby jednou za 6 měsíců	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrola čistoty oleje v otočném stole. • Kontrola a plnění oleje ve vřeteníku. • Kontrola a mazání ložisek u ložení vřetene.
Pracovník údržby jednou za rok	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrola a vyčištění dopravníku. • Kontrola filtrační stanice. • Promazání ložisek a výměna olejové náplně v převodovkách u filtrační stanice.

4.3 Nabídky generální opravy a modernizace stroje

Modernizace stroje v podniku Vítkovice Power Engineering probíhá formou vypsání výběrového řízení na externí firmu. Ve výběrovém řízení se o možnost generální opravy horizontky ucházelo 6 společností: Škoda Machine Tools, Pressl, Vítkovice Mechanika, Lemakor, VH Service, Pelug tech. Každá společnost předložila návrh generální opravy a modernizace stroje. Porovnávalo se mnoho parametrů. V tab. 7 jsem pro porovnání vybral několik důležitých parametrů.

Tab. 7 Porovnávané parametry jednotlivých nabídek

Parametry	Společnosti					
	Škoda Machine Tools	Pressl	Vítkovice Mechanika	Lemakor	VH Service	Pelug tech
Max. moment na vrtacím vřetení (Nm)	12000	8800	8800	8800	8800	8800
Výkon motoru (kW)	100	100	77	100	100	100
Max. otáčky vřetene (1/min)	900	900	630	900	800	750
Pracovní prostor z hlediska BOZP obsluhy a vstupu neoprávněných osob	ano	ano	Obsluha ano, ne ostatní	ano	ano	ano
Nové žlaby a svody pro hydrostatické mazání	Ano nové	Ano nové	Ano nové	Ano nové	Ne	Ano nové
Posuvové hřebeny lože	Zakalení a přebroušení původních	Zakalení a přebroušení původních	Výměna za nové	Výměna za nové	Neupraveny	Zakalení a přebroušení původních
Nové vrtací vřeteno s kuželem ISO 50	Ano	Ano	Ne	Repase původního + nový kužel ISO 50	Ne, pouze nový kužel ISO 50	Ano

4.3.1 Vícekriteriální rozhodování

Než použijeme jednu z metod vícekriteriálního rozhodování, musíme si nejprve stanovit koeficienty významnosti jednotlivých kritérií. Čím je hodnota koeficientu vyšší, tím je kritérium významnější.

Stanovení koeficientů významnosti

Ke stanovení koeficientu významnosti můžeme využít tři metody: metoda pořadí, metoda známkování nebo metoda porovnávání v trojúhelníku párů. Já jsem zvolil metodu pořadí.

Metoda pořadí

Každý expert podle vlastního uvážení přiřadil každému kritériu jednoznačné pořadí (Tab. 8). Čím je kritérium významnější, tím má lepší pořadí. Nejvýznamnější kritérium má hodnocení 1. Pořadí se nesmí opakovat. Dále byl proveden výpočet α_j dle vztahu:

$$\alpha_j = \sum_{k=1}^p \alpha_{kj} \quad (1)$$

Kde:

p – počet expertů

α_{kj} – číslo pořadí přiřazené k -tým expertem j -tému kritériu

Příklad výpočtu α_j pro kritérium výkon motoru.

$$\alpha_j = \sum_{k=1}^p \alpha_{kj} = 2 + 3 + 2 + 3 + 2 = 12$$

Tab. 8 Stanovení pořadí kritérií

Kritéria (parametry)	Experti					α_j
	1.	2.	3.	4.	5.	
Max. moment na vrtacím vřetení	1	1	1	1	1	5
Výkon motoru	2	3	2	3	2	12
Max. otáčky vřetene	6	6	6	2	3	23
Pracovní prostor z hlediska BOZP obsluhy a vstupu neoprávněných osob	4	2	4	4	4	18
Nové žlaby a svody pro hydrostatické mazání	7	7	5	7	7	33
Posuvové hřebeny lože	3	4	7	5	6	25
Nové vrtací vřeteno s kuželem ISO 50	5	5	3	6	5	24
					$\sum \alpha_j$	140

Nakonec určíme koeficienty významnosti kritérií B_j , které jsou dány vzorcem:

$$B_j = 1 - \frac{\alpha_j}{\sum_{j=1}^m \alpha_j} \quad (2)$$

Kde:

m – počet kritérií

α_j – součet pořadí přiřazený všemi experty j -tému kritériu

Příklad výpočtu pro koeficient významnosti kritéria B1:

$$B_1 = 1 - \frac{5}{140} = 0,9642$$

Vypočítané koeficienty významnosti jednotlivých kritérií jsou uvedeny v tab. 9. Čím je kritérium významnější, tím se jeho koeficient významnosti blíží 1.

Tab. 9 Koeficienty významnosti kritérií B_j

Kritéria	B _j
Max. moment na vrtacím vřetení	0,9642
Výkon motoru	0,9142
Max. otáčky vřetene	0,8357
Pracovní prostor z hlediska BOZP obsluhy a vstupu neoprávněných osob	0,8714
Nové žlaby a svody pro hydrostatické mazání	0,7642
Posuvové hřebeny lože	0,8214
Nové vrtací vřeteno s kuželem ISO 50	0,8285

Vhodné je také určit shodu výpovědí jednotlivých expertů. K tomuto účelu použijeme koeficient shody, který je daný vztahem:

$$w = \frac{12 \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k=1}^p \left[\alpha_j - \frac{p(m+1)}{2} \right]^2 \right]}{p^2 \cdot (m^3 - m)} \quad (3)$$

Kde:

w – koeficient shody

m – počet kritérií

p – počet expertů

Výpočet koeficientu shody:

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{12 \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k=1}^p \left[\alpha_j - \frac{p(m+1)}{2} \right]^2 \right]}{p^2 \cdot (m^3 - m)} \\
 &= \frac{12 \cdot \left[\left[5 - \frac{5(7+1)}{2} \right]^2 + \left[12 - \frac{5(7+1)}{2} \right]^2 + \left[23 - \frac{5(7+1)}{2} \right]^2 + \left[18 - \frac{5(7+1)}{2} \right]^2 + \right. \\
 &\quad \left. \left[33 - \frac{5(7+1)}{2} \right]^2 + \left[25 - \frac{5(7+1)}{2} \right]^2 + \left[24 - \frac{5(7+1)}{2} \right]^2 \right]}{5^2 \cdot (7^3 - 7)} \\
 &= \mathbf{0,7314}
 \end{aligned}$$

Koeficient shody vyjde v rozsahu od 0 do 1. Jestliže vyjde 1, pak se jedná o úplnou shodu hodnocení. V případě že vyjde 0, jedná se o naprostou rozdílnost hodnocení. V případě že by koeficient vyšel menší než 0,5, je dosažena nízká shoda hodnocení a doporučuje se, aby si experti vzájemně vyměnili názory na hodnocení kritérií a provedli nové hodnocení. V našem případě vyšel koeficient shody vyšší než 0,5, takže můžeme přistoupit k metodě rozhodování.

Metody vícekritériálního rozhodování

Pro řešení rozhodovacího procesu si můžeme vybrat z několika metod: metoda vážených dílčích pořadí, metoda bazická, metoda PATTERN, metoda vážená bodovací. Já jsem pro rozhodování zvolil metodu vážených dílčích pořadí.

Metoda vážených dílčích pořadí

Nejdříve v tabulce stanovíme pořadí jednotlivých variant podle hodnocení jednotlivých kritérií (Tab. 10). Rozlišíme také kritéria typu výnosy a náklady. V našem případě můžeme všechna kritéria požadovat za výnosy. Do tabulky jsme také zanesli koeficienty významnosti jednotlivých kritérií. Hodnoty kritérií jsou uvedeny v tab. 7. V případě stejných hodnot pro dané u více variant, přiřazujeme jim hodnotu průmětu pořadí, které tyto hodnoty zaujímají.

Dále vynásobíme dílčí pořadí příslušným koeficientem významnosti B_j a poté sečteme všechna vážená dílčí pořadí pro každou variantu (S_j). A nakonec uvedeme výsledné pořadí variant V_j . Na prvním místě je ta varianta, která má nejnižší hodnotu součtu dílčích pořadí a na posledním místě je varianta s nejvyšším součtem dílčích pořadí – Tab. 10.

Tab. 10 Dílčí a výsledné pořadí

Kritéria	B _j	Společnosti					
		Škoda Machine Tools	Pressl	Vítkovice Mechanika	Lemakor	VH Service	Pelug tech
Max. moment na vrtacím vřetení	0,9642	1 . 0,9642 = 0,9642	4 . 0,9642 = 3,8568	4 . 0,9642 = 3,8568	4 . 0,9642 = 3,8568	4 . 0,9642 = 3,8568	4 . 0,9642 = 3,8568
Výkon motoru	0,9142	3 . 0,9142 = 2,7426	3 . 0,9142 = 2,7426	6 . 0,9142 = 5,4852	3 . 0,9142 = 2,7426	3 . 0,9142 = 2,7426	3 . 0,9142 = 2,7426
Pracovní prostor z hlediska BOZP obsluhy a vstupu neoprávněných osob	0,8714	3 . 0,8714 = 2,6142	3 . 0,8714 = 2,6142	6 . 0,8714 = 5,2284	3 . 0,8714 = 2,6142	3 . 0,8714 = 2,6142	3 . 0,8714 = 2,6142
Max. otáčky vřetene (10/min)	0,8357	2 . 0,8357 = 1,6714	2 . 0,8357 = 1,6714	6 . 0,8357 = 5,0142	2 . 0,8357 = 1,6714	4 . 0,8357 = 3,3428	5 . 0,8357 = 4,1785
Nové vrtací vřeteno s kuželem ISO 50	0,8285	2 . 0,8285 = 1,657	2 . 0,8285 = 1,657	6 . 0,8285 = 4,971	4 . 0,8285 = 3,314	5 . 0,8285 = 4,1425	2 . 0,8285 = 1,657
Posuvové hřebeny lože	0,8214	4 . 0,8214 = 3,2856	4 . 0,8214 = 3,2856	1,5 . 0,8214 = 1,2321	1,5 . 0,8214 = 1,2321	6 . 0,8214 = 4,9284	4 . 0,8214 = 3,2856
Nové žlaby a svody pro hydrostatické mazání	0,7642	3 . 0,7642 = 2,2926	3 . 0,7642 = 2,2926	3 . 0,7642 = 2,2926	3 . 0,7642 = 2,2926	6 . 0,7642 = 4,5852	3 . 0,7642 = 2,2926
S _j		15,23	18,12	28,08	17,72	26,21	20,63
V _j		1	3	6	2	5	4

Podle výsledků této metody je nejlepší možná varianta nabídka firmy Škoda Machine Tools. Finanční stránka nabídek je pouze vnitropodniková záležitost, proto jsem ji do porovnávání nezahrnoval.

4.3.2 Technické parametry stroje po modernizaci - Škoda Machine Tool

V následující kapitole je pro srovnání uveden popis modernizace stroje, kterou bude provádět podnik Škoda Machine Tool. Jejich nabídka byla dle vícekritériálního rozhodování nejlepší.

Tab. 11 Technické parametry stroje – Škoda Machine Tool

			Původní	Po modernizaci
Posuvy				
Posuv stojanu po loži	Osa X	mm	20 000	20 000
Posuv vřeteníku po stojanu	Osa Y	mm	5 150	5150
Výsuv pinoly	Osa W	mm	1 600	1 600
Výsuv vřetene	Osa Z	mm	2 000	2 000
Výsuv pinola + vřeteno	Osa Z+W	mm	2 000	2 000
Vřeteník				
Průměr vrtacího vřetene		mm	200	200
Upínací kužel pro nástroje			ISO 60	ISO 60
Čtvercový průřez pinoly		mm	520x520	520x520
Otáčky vřetena		1/min	0,8-630	0,9-900
Max. moment na vrtacím vřeteni stroje		Nm	8 800	12 000
Max. moment na frézovacím vřeteni stroje		Nm	35 000	35 000
Výkon motoru pro pohon vřetena stroje		kW	77	100
Posuvy				
Posuvová rychlost pro osy X, Y		mm/min	0,5-3 200	0,75-8 000
Posuvová rychlost pro osy Z, W		mm/min	0,5-1 600	0,75-6 000
Odměřování				
Heidenhain LB: pro osy X, Y – přímé odměřování				
Rotační snímač Heidenhain pro osu W, Siemens pro osu Z (obě osy nepřímé odměřování)				

Mechanická část

Lože

Nástavek 2 m, včetně kotevního materiálu, vodící plochy přebroušeny v ŠMT, zakalení a přebroušení původních posuvových hřebenů + nové pro nástavek 2 m, nové žlaby a svody pro hydrostatické mazání, instalace nového lineárního odměřování Heidenhain LB, nová

konzola a hřeben pro provedení NC, nové blokování posuvů, nové teleskopické krytí včetně podpěrných rámu a konzol.

Spodní část stojanu

Bezvůlový posuv stojanu po loži pomocí master-slave, opracování spodu stojanu pro bezvůlový posuv v ose X, nová konzola pro uchycení lineárního snímače pro osy X, nový hydrostatický systém mazání, včetně rozvodu, nový agregát hydrostatiky, nové obložení kluzných ploch Biplastem, nové klíny, kontrola a oprava upínacích jednotek, výměna těsnění a ostatních vadných částí, vylití Solagelem, výměna stíráků vodících ploch, zakrytí spodku stojanu pod protizávažím proti nahodilému vniknutí cizích předmětů vnitřkem stojanu při montáži a údržbě, úprava spodku stojanu pro spodní teleskopické krytí osy Y, nová konzola blokování.

Stojan

Vodící plochy budou přebroušeny v ŠMT, úprava stojanu pro stavěcí šrouby na vyrovnání stojanu na spodku, nový kuličkový šroub posuvu vřeteníku s měchovým krytím horní části, včetně matice a tělesa pro upevnění na vřeteník, nové teleskopické krytí vodících ploch stojanu pod vřeteníkem, úprava převodové a nová posuvová skříň pro osu, nový vzduchový rozvod, nové blokování posuvů, instalace nového lineárního odměřování Heidenhaim LB, zesílení vedení protizávaží, vedení protizávaží s dvojnásobnou hustotou připevňovacích bodů (připevnění na žebra i na pomocné úhelníky) a upevnění 4 šrouby na každém připevňovacím bodě, úprava protizávaží, provedení s odpruženými kladkami, včetně úpravy dovyvážení vřeteníku, nová lana, úprava horního krytu stojanu, kontrola a oprava lanových kladek a závěsů

Vřeteník

Vřeteník upraven pro obložení kluzných ploch hmotou s nízkým součinitelem tření, úprava klínových lišt, obložení Biplastem, rekonstrukce mazání vodících ploch vřeteníku a pinoly, nové stírače, nový kryt čela pinoly, nový vzduchový rozvod vřeteníku, kontrola upínacích jednotek, jejich obnova, včetně vylití a vyzkoušení, úpravy vřeteníku pro snímače odměřování a koncové snímače osy Y, nové vrtací vřeteno s vložkou a kuželem ISO 60, mechanizované upínání nástrojů se samostatným ovládáním na čele vřeteníku, nová pouzdra v uložení vřetena, nová ložiska do uložení vřetena, přebroušení pinoly, nalícování do tělesa vřeteníku, úprava klínových lišt, obložení Biplastem, nové kuličkové šrouby

výsuvu vřetene a pinoly, výměna těsnících elementů v pohonné skříni, výměna ložisek a ozubených kol v pohonné skříni dle kontrolního nálezu, úprava snímání výsuvu vřetene, nové snímání natočení vřetene, nové samostatné snímání výsuvu pinoly, oprava nebo výměna ostatních součástí dle nálezu, řezání závitů v elektrické vazbě pomocí nového snímání otáčení vřetene.

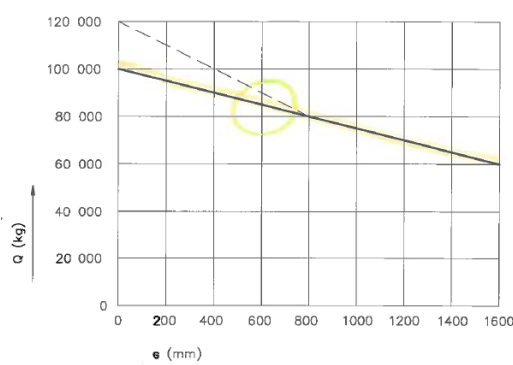
Otočný stůl

Po modernizaci hydrostatika na ose B a V. tlakový olej dodáván z jednoho agregátu, umístěného v základu stroje. Tlak oleje 3 MPa. Součástí ventily, kterými lze vypínat hydrostatiku v obou osách. Průtok oleje do jednotlivých hydrostatických kapes je řízen pomocí proudových ventilů, kterými lze nastavit potřebnou výšku škrtící mezery. Tlaky v buňkách se u osy V pohybují kolem 0,5 MPa a u osy V kolem 1,5 MPa. Výška naplavení bez zatížení je okolo 0,03 mm pro V a 0,05 mm pro B. Při plném zatížení hodnota klesá na cca 0,01 mm pro V a 0,02 mm pro B.

Posuv v ose V je realizován pomocí kuličkového šroubu. Použitý motor je Siemens 1FT7108 10,5 kW. Pro osu B se využívá systém master-slave, tj. dva motory Siemens 1FT7108, každý o výkonu 9,6 kW.

Požadovaná excentricita na obr. 3.

Diagram závislosti přípustné hmoty obrobku Q na výstřednosti jeho těžiště e při normálních způsobech práce otočného stolu S100



Obr. 32 Závislost přípustné hmoty obrobku na výstřednosti [3]

Plošiny

Kontrola, úprava plošin z hlediska funkčního a bezpečnostního, výsuvná část plošiny pro obsluhu bude provedena s motorizovaným posuvem ovládaným z hlavního panelu, zadní plošina demontována

Hydraulická část

Nový agregát hydrostatiky, nový hydraulický rozvod mazání v ose Y, nový hydraulický rozvod hydrostatiky v ose X, nový agregát pomocných funkcí, hydraulický okruh pro osu Z (pinola) a mazání uložení vřetena, stroj je dodáván bez olejové náplně

Elektrická část

Kompletní nové elektrovybavení včetně rozvaděče a regulátorů hlavního pohonu, a všech posuvových motorů podle ČSN EN 60204-1=DIN EN 60204-1 (IEC 204-1), rozvaděčové skříň s CNC, PLC s regulátory, prachotěsné, s kompresorovým chlazením a krytím IP54, pohon vřetena novým AC motorem Siemens – 100 kW IP54, pohon všech posuvových mechanismů AC motory 1FT 6 IP64 s bezstupňovou regulací, frekvenční měniče Siemens, odměřování Heidenhain - osy X, Y, odměřování Siemens - osa Z, systém řízení Siemens Sinumeric 840D sl

Příslušenství

Sada náradí k obsluze stroje, sada náhradních dílů prvního vybavení – mechanika, hydraulika, elektřina. 5 kusů nástavců pro upnutí nástroje

Tab. 12 Frézovací hlava IFVW 2 B

Převod mezi vstupem a výstupem	1:1
Maximální otáčky	1000 ot. /min
Max. moment do 200 ot/min	2600 Nm
Max. výkon od 200 ot. /min	55 kW
Ruční upínání nástrojů pomocí šroubu	
Vnitřní kužel pro upínání nástrojů	ISO 50, 60
Ruční natáčení hlavy	
Rozsah natáčení	0-360°
Vnější přívod chladicí kapaliny	
Hmotnost	400 kg

Tab. 13 Frézovací hlava IFVW 3 B

Převod mezi vstupem a výstupem	1:1
Maximální otáčky	1000 ot. /min
Max. moment do 200 ot/min	2600 Nm
Max. výkon od 200 ot. /min	55 kW
Ruční upínání nástrojů pomocí šroubu	
Vnitřní kužel pro upínání nástrojů	ISO 50, 60
Ruční natáčení hlavy ve dvou osách	
Rozsah natáčení v obou osách	0-360°
Vnější přívod chladicí kapaliny	
Hmotnost	650 kg

Paleta pro 2 kusy frézovacích hlav

-slouží pro uložení příslušenství u stroje

Chlazení nástrojů

Agregát chlazení na 1250 l v základu stroje, přívod řetězem Kabelschlepp na pinolu stroje do ručně nastavitelného přívodu.

Agregát chlazené sestaven z následujících jednotek:

-filtry

-2 čerpadla pracující ve 3 stupních:

- 40 l/min, p = 5 bar (1. čerpadlo)
- 70 l/min, p = 5 bar (2. čerpadlo)
- 110 l/min, p = 5 bar (1. + 2. čerpadlo)

Měřicí sonda pro proměřování obrobků (s rádiovým přenosem)

Měřicí hlava RPM 60, interface RMI, radiový přenosový systém 2,4 GHz, standardně 2 kusy dotyku délky 100 mm, průměr měřicí kuličky 6 mm, kalibrační kroužek včetně stojánku, propojení na stroj a rozšíření NC systému. Měřicí cykly Siemens.

Měřicí sonda pro proměřování nástrojů

Nástroj upnut ve vřetenu stroje, proměřování se děje v pracovním prostoru stroje.

- měřicí sonda RTG 60 s dotyky a jednotkou interface
- s přizpůsobením pro radiový přenos signálu o frekvenci 2,4 GHz.
- úprava stroje pro připojení sondy
- kalibrační nástroj

Měřicí cykly Siemens.

Dokumentace

- Návod k obsluze a údržbě stroje
- Návod k obsluze pro řídicí systém stroje
- Údaje pro stavební výkres základu (úpravy základu)
- Návod k obsluze pro příslušenství stroje

5 Závěr

Vyvrtávací stroje jsou v současnosti hojně využívány v mnoha operacích. Velkou předností je jejich vysoká univerzálnost konfigurací. Použitím velkého množství příslušenství od frézovacích hlav, přes automatickou výměnu nástrojů a obrobků, různých upínacích prvků a jiného příslušenství lze nahradit několik strojů.

Modernizovaný obráběcí stroj musí splňovat určité technické parametry a také musí být v průběhu určitého horizontu ekonomicky výhodný. V ideálním případě musí být schopen obrábět rychleji, přesněji, s co nejnižšími náklady, minimálními časy mezi operacemi a malou náročností na obsluhu a seřízení. Velmi často je rozhodující právě ekonomická stránka modernizace, vztah mezi ekonomickým přínosem a cenou modernizace. Ta s sebou nese sice náklady, ovšem z dlouhodobého hlediska také úspory na vynaloženou energii na provoz, zvýšení produktivity, přesnosti obrábění, vyšší spolehlivost stroje a prodloužení jeho životnosti.

Hlavním účelem modernizace tohoto těžkého obráběcího stroje bylo především obnovení jeho provozuschopnosti s využitím moderních prvků, zvýšení kvality provedené práce a prodloužení jeho životnosti. Na kvalitu provedené práce má vliv mnoho faktorů. V rámci modernizace to bude především volba spolehlivého odměřovacího systému a kvalitní uložení vřeten, respektive provedení celého vřeteníku (vyvažování výsuvu pinoly, vyvažování vřeteníku). Doba životnosti bude velmi ovlivněna správnou údržbou. Zásadní vliv bude mít údržba o hydraulické okruhy, mazací okruh a ložiska.

Zvýšení produktivity nebylo hlavním účelem modernizace, protože tento stroj bude působit v těžkém provozu při výrobě kusových součástí, avšak produktivita bude mírně ovlivňována mírným zrychlením pojezdových časů s využitím rychloposuvů a dále nástrojovým hospodářstvím, ve kterém můžeme využívat systémy automatické výměny nástrojů a tím zkrátit potřebný čas k výměně nástroje.

Důležitý je také i psychologický aspekt modernizace, např. vybavení novým řídicím systémem. Obsluha se například nemusí dokázat přizpůsobit novým podmínkám, nebo mohou nastat problémy s údržbou nového modernizovaného stroje v provozu s klasickými stroji.

Při ekonomických kalkulacích a vyhodnocování nabídek by se kromě samotné ceny modernizace měly vzít v úvahu i další věci. Například zaškolení obsluhy a údržby. Její kvalita se totiž výrazně projeví na budoucí četnosti oprav. Dalším důležitým faktorem je

příslušenství. Například nová frézovací hlava v ceně nám může výrazně ovlivnit výběr konečné varianty. Dalším faktorem jsou přejímka a montáž stroje. Přejímka by měla zahrnovat zkoušku geometrické přesnosti stroje a kompletní funkční zkoušky stroje. Dalšími faktory jsou například doprava stroje, úplnost doprovodné dokumentace, obzvláště návodů k obsluze a údržbě stroje, která by měla být samozřejmostí a nakonec záruka na provedené dílo.

Často vyhledávaným parametrem je také doba návratnosti investice. Ta se odvíjí od celkových nákladů, budoucích příjmů a životnosti investice. Generální oprava a modernizace byla ve své podstatě nutností, z důvodu obnovení technologických vlastností a umožnění dalšího provozu stroje. Stroj bude provozován v kusové výrobě. Budoucí příjmy plynoucí z obrábění jednoho kusu budou velice variabilní a bylo by komplikované předpovědět bližší návratnost. Návratnost investice můžeme vyjádřit v minimálním počtu odstávek stroje a tím ušetření výdajů plynoucích z prostojů. Z důvodu lepších technologických vlastností můžeme také získat vyšší množství potenciálních zakázek.

6 Seznam použité a studované literatury

- [1] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010, 420 s. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [2] Systémy údržby. *Cech majstrov údržby* [online]. 2015 [vid. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.tpm.sk/index.files/Page346.htm>
- [3] Vnitropodnikové materiály Vítkovice Power Engineering
- [4] *Rotační snímače, úhlové snímače, lineární snímače, řízení obráběcích strojů* [online]. ©2015 [vid. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.heidenhain.cz>
- [5] *Siemens Česká republika* [online]. 2015 [vid. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.siemens.com/answers/cz/cz/>
- [6] Automatická výměna nástrojů pro horizontální obráběcí stroje. *VÚTS, a.s.* [online]. © 2013 [vid. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.vuts.cz/automaticka-vymena-nastroju-pro-horizontalni-obrabeci-stroje.html>
- [7] Ekodesign - všude kolem nás. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2013 [vid. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ekodesign-vsude-kolem-nas.html>
- [8] Klíč k maximalizaci využitelnosti a výkonu systémů. *Odborné časopisy - Časopis Elektro* [online]. © 2014 - 2015 [vid. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/klic-k-maximalizaci-vyuzitelnosti-a-vykonu-systemu--13602>
- [9] *VEEM TRADING, s.r.o.* [online]. 2014 [vid. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://veemtrading.cz>

- [10] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP a Jana PETRŮ. 2013. Výrobní stroje obráběcí. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 145 s. ISBN 978-80-248-2941-8.
- [11] ŠAJDLEROVÁ, Ivana. *Organizace a řízení výroby*. Vyd. 1. Ostrava: Fakulta strojní: VŠB-TUO, 2012, 223 s. ISBN 80-7329-131-2.
- [12] LÍBAL, Vladimír. *Organizace a řízení výroby*. 7. nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 559 s. ISBN 978-80-248-2775-9.
- [13] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty I*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 197 s. ISBN 80-214-2871-6.
- [14] LEDNICKÝ, Václav. *Strategické řízení*. Vyd. 1. Ostrava: Repronis, 2006, 153 s. ISBN 80-7329-131-2.
- [15] ČSN ISO 690 (01 0197) [i]Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů.[/i] Praha: Český normalizační institut, 2011. 40s.

7 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Seznam obrázků

Obr. 1 Varianty stolové, křížové a deskové vyvrtávačky [1]	10
Obr. 2 Výsuvné vyvrtávací vřeteno [1]	12
Obr. 3 Hydrostatické vedení stolu [1].....	12
Obr. 4 Dvojice vřeten orientovaných proti sobě [1]	13
Obr. 5 Speciální příslušenství pro výrobu hlubokých otvorů [1]	13
Obr. 6 Frézovací hlava [1]	14
Obr. 7 Kompenzace opotřebení nástroje - US patent 7195430 [1].....	14
Obr. 8 Závislost užité hodnoty zařízení na čase při různých přístupech k údržbě [8].....	15
Obr. 9 Hierarchie oprav [1].....	20
Obr. 10 Příklad měření spotřeby el. energie pomocí měřící jednotky Sentron [1].....	24
Obr. 11 Časový záznam spotřeby elektrické energie v jednoduché operaci – příkon stroje v závislosti na čase [1]	24
Obr. 12 Graf četnosti využití proudu u jednotlivých pohonů [1]	25
Obr. 13 Příklad obrazovky řídicího panelu s aktivovaným úsporným režimem [1].....	26
Obr. 14 Srovnání spotřeby energie (kW) v čase u provozu standartních (vlevo) a hybridních agregátů (vpravo) [1].....	27
Obr. 15 Příklad hybridních agregátů a čerpadel firmy Daikin a porovnání spotřeby energie u standartních a hybridních agregátů, ukazující úsporu energie až 36,6 %. [1]	27
Obr. 16 Příklad technologií pro snížení spotřeby energie u obráběcího stroje a velikost úspory od firmy Kapp and Niles [1]	28
Obr. 17 Spotřeba elektrické energie - levá část grafu zobrazuje průběh obráběcího cyklu v čase, vpravo jsou prvky na stroji a jejich průměrný podíl spotřeby elektrické energie v různých stavech obráběcího cyklu. [1]	29
Obr. 18 Příklad modelu pro simulaci spotřeby elektrické energie, kde porovnáváme dvě strategie obrábění se stejnou spotřebou energie, které se ale liší výsledným časem obrábění. [1].....	29
Obr. 19 Příklad srovnání trajektorií při dvou různých hmotnostech na fiktivním příkladu obráběcího cyklu. Modrá trajektorie je bez redukce hmotnosti, zelená trajektorie je s 30% redukcí hmotnosti pohybové struktury. Výsledná úspora času je zhruba 5%. [1].....	30
Obr. 20 Výrobní program společnosti [3].....	31

Obr. 21 Struktura společnosti [3].....	33
Obr. 22 W200 HC [3]	34
Obr. 23 Otočný stůl S100C [3]	36
Obr. 24 Současný stav W200 HC	37
Obr. 25 lineární snímač Heidenhain LC200 [4]	41
Obr. 26 Parametry snímačů řady LC 200 [4].....	42
Obr. 27 Vestavná měřidla ERM řada 200 [4]	42
Obr. 28 Příklad vedení s vloženými jehlovými pásky firmy INA [1]	46
Obr. 29 Systém ATC4-60 od VÚTS a.s. [6].....	49
Obr. 30 Ovládací panely Siemens [5].....	54
Obr. 31 Oblasti ovlivňující energetickou bilanci stroje [7]	54
Obr. 32 Závislost přípustné hmoty obrobku na výstřednosti [3]	66

Seznam tabulek

Tab. 1 Způsoby řešení modernizace [1].....	22
Tab. 2 Technické parametry W200 HC [3]	35
Tab. 3 Nejnákladnější poruchy stroje v období roku 2012-2013	37
Tab. 4 Nejčastější poruchy stroje v období roku 2012-2013	38
Tab. 5 Údržba stroje - obsluha.....	57
Tab. 6 Údržba stroje – pracovník údržby	57
Tab. 7 Porovnávání parametry jednotlivých nabídek	58
Tab. 8 Stanovení pořadí kritérií	60
Tab. 9 Koeficienty významnosti kritérií Bj.....	61
Tab. 10 Dílčí a výsledné pořadí	63
Tab. 11 Technické parametry stroje – Škoda Machine Tool.....	64
Tab. 12 Frézovací hlava IFVW 2 B	67
Tab. 13 Frézovací hlava IFVW 3 B	67

Seznam grafů

Graf 1 Nejnákladnější poruchy stroje v období 2012-2013.....	38
Graf 2 Nejčastější poruchy stroje v období 2012-2013	38

Poděkování

Tímto bych velmi rád poděkoval vedoucí diplomové práce paní Ing. Vladimíře Schindlerové za pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této práce. Dále chci velmi poděkovat Ing. Martinu Procházkovi z Vítkovice Power Engineering za poskytnutí podkladů, jeho čas, ochotu a cenné rady při vypracování. A také chci poděkovat podniku Vítkovice Power Engineering za umožnění spolupráce a výbornou zkušenost.